

# ПРОЕКТ "ЦЕЛИК"



*Технология интенсификации разработки нефтяных месторождений высоковязкой нефти за счет детальной геологической разведки и экспертирования состояния нефтеизвлечения из залежи, целенаправленного бурения коротких горизонтальных стволов в "целики" нефти, внутрискважинного разжижения, контроля и управления добычей нефти из них.*

## ***ОЧЕРК И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ***

Ниже приведен очерк о технологии интенсификации разработки нефтяных месторождений высоковязкой нефти за счет поиска "целиков" нефти, экспертирования состояния нефтеизвлечения из залежи, целенаправленного бурения коротких горизонтальных стволов в "целики" нефти, контроля и управления добычей нефти из них. Приведены расчетные экономические показатели доработки плотного участка месторождения нефти площадью в 1 кв. км, при усредненной плотности эксплуатационных скважин 0,1скв/га

***ИСПОЛНИТЕЛЬ:***

***Институт нефти Украинской Академии наук, г. Киев (UA)***

## **Введение в технологическую программу - проект "Целик".**

На сегодня, для большинства обводненных нефтяных объектов основная задача их разработки, которая заключается в наиболее полном извлечении углеводородного сырья, решена неудовлетворительно. На это есть свои причины. Они известны.

Известно, также, что главную негативную роль в нефтеизвлечении, а в последствии в осложнении геологической обстановки недр для этих объектов сыграли неграмотные, по существу, варварские способы добычи<sup>1</sup>. Нарушение дозированного, сбалансированного темпа отбора нефти за счет распространенного применения высокодебитных насосов, нерегулируемых отборов, закачки холодной воды и др. неразумных воздействий на пласт ухудшили их призабойные зоны и коллекторные свойства пластов.

Указанные гидродинамические режимы добычи пластовых флюидов из скважин спровоцировали нарушения изотропности коллекторов, нежелательные физико-химические превращения флюидов под действием минерализационного состава законтурных вод, образование разветвленной сети больших и малых трещин в пластах, зоны "проскальзывания" воды и других пластовых флюидов между вертикальными и горизонтальными границами пластов, в которых накопилась пластовая вода. Эти трещины, заполненные водой - "водные языки и линзы" являются дополнительными экранами на пути движения нефти из пласта в сторону добывающих скважин. Потому в коллекторах образовались недренируемые, застойные, тупиковые и непромытые зоны, внешне ограниченные водными линзами, - так называемые «целики» нефти.

Устранение таких негативных техногенных последствий - основная задача проекта "ЦЕЛИК", который нацелен на максимально полное, дешевое и быстрое извлечение углеводородного сырья при минимальных капитальных вложениях и минимальной экологической деструкции среды. Группа методов, которые объединены в указанную программу, - одна из разновидностей технологий интенсификации разработки нефтяных месторождений. В данном коротком очерке к проекту "ЦЕЛИК" декларируется предложенный принципиально новый комплексный подход в решении указанной выше задачи, значительно отличающийся от существующих технологических схем и технологий интенсификации разработки.

Основой стратегии в интенсификации разработки таких объектов является максимальное использование информации о геологическом строении, о состоянии фильтрационных процессов в коллекторах, о процессах добычи сырья из скважин, о процессах внутрипромыслового накопления, подготовки и транспорта сырой нефти использовании новых оптимизационных критериев и моделей пластовых процессов для проектирования и реализации технологических режимов.

Для достижения стратегических целей в интенсификации разработки используют цифровые, точные геологические модели, которые получают средствами межскважинной сейсмоакустической геотомографии<sup>2</sup> в сочетании с традиционной геофизикой. В соответствие с выбранной стратегией, сначала необходимо "увидеть" распределение целиков нефти в пластах, потом эту информацию использовать в проектировании бурения системы разветвленных горизонтальных стволов из вертикального ствола каждой „старой” скважины, создать математическую модель технологии разработки залежи, предвидя последующее изменение коллекторских свойств и поведение фильтрационных процессов в пластах. Смонтировать систему автоматизированного управления и мониторинга режимов разработки и управлять процессом добычи углеводородов из залежи с помощью исполнительных механизмов экспортной системы.

Этот комплекс мероприятий можно осуществить лишь на основании высокочувствительных методов пространственной геологической разведки залежей, которая дает возмож-

<sup>1</sup> «Неизвлекаемой нефти нет. Есть неграмотная разработка месторождений», М.Е. Непримеров

<sup>2</sup> См. список литературы. [1-20].

ность создать самое точное представление пластов. Важнейшая из них - межскважинная сейсмоакустическая томография (МСАТ) и комплекс «Геозор-3DM».

Выбор указанной стратегии разработки вынуждает отказаться от ряда традиционных методов и средств разработки месторождений, используемых в отрасли, поэтому, здесь, применяют принципиальную корректировку существующих способов разработки месторождений, корректировку параметров технологических схем разработки.

Другими словами, целью данной программы работ является **значительное повышение эффективности доработки обводненных месторождений высоковязкой** нефти на завершающей стадии их эксплуатации за счет применения новых информационных технологий и устройств, решающих задачу поиска целиков нефти, бурения коротких горизонтальных стволов в их сторону и организации экспертированной, контролируемой и управляемой добычи нефти из них. Эффективность применения такого подхода обеспечивают использованием принципиально новых запатентованных достижений и технологий.

На основании результатов томографирования участка месторождения, в процессе детальной разведки создают объективную интерактивную геологическую модель. Под геологической моделью понимают реконструкцию пространственного распределения нефте-водо-газо насыщенности, пористости и давления в продуктивных пластах, определение координат целиков нефти, привязанных к конкретной системе скважин, географических или относительных координат. После детального изучения используют эту модель, базирующуюся на итогах томографирования нефтяного участка, для проектирования и осуществления массивного многозобойного разветвленного бурения системы коротких горизонтальных стволов, специально ориентированных в зоны повышенной нафтенасыщенности, то есть в сторону целиков нефти, из вертикальных стволов "старых" скважин. Детально изучив состояние залежи и её отдельных участков, принимают решение об ограниченном использовании или расширении перечня мероприятий технологической программы - проекта "Целик", которая, на наш взгляд, является радикальным способом решения поставленного задания.

Максимальную добычу нефти и наиболее полную нефтеотдачу месторождения ведут при минимальных капвложениях и сроке, и, таким образом, обеспечивают повышение нефтедобычи за счет "мягких" режимов добычи специальных «интеллектуальных» насосов и другого оборудования. Работа таких устройств основана на понимании внутрислоевых процессов и процессов в скважинах, максимальном использовании информационных технологий в управлении новым добывающим оборудованием путем регламентации их режимов работы. Осуществление такой стратегии проводят путем использования совокупности технологий, предусмотренных и описанных в данном проекте

Каждый цикл технологической программы работ на каждом временном отрезке - двух шаговый. На первом шаге применяют дешевую, но точную технологию детального построения геологической модели на основании результатов применения метода и средств межскважинной томографии. На основе геомодели методами имитационного моделирования в экспертной системе всесторонне анализируют состояние разработки и формируют стратегию дальнейшей оптимальной доработки месторождения. На основе выработанных решений проводится второй шаг - используют новые режимы управляемых и контролируемых технологий разбуривания и доработки полигона. Эффективность использования этого подхода обеспечивают использованием принципиально новых достижений и запатентованных технологий (18 заявок и патентов), которые относятся к сопутствующим областям. Среди них - основа проекта "Целик" - межскважинная томография – система «Геозор-3DM», система "Эксперт" и другие аналогичные технологические комплексы. Наиболее обобщенная блок – схема указанных выше средств оценки состояния месторождения и синтеза технологических решений представлена ниже.

## Информационная база технологической программы "Целик"

Под информационной базой проекта «Целик» следует подразумевать основу для синтеза критериально обоснованных решений – управлений. Они касаются технологических режимов работы промышленного оборудования (дебитов эксплуатационных скважин, давлений и температур, нефте-газо-водо-содержания в потоках, расходов и объемов реагентов, закачиваемых в пласт, ремонтных мероприятий, характеристик движения флюидов в пластах и изменение комплектации скважинного оборудования). Их производят согласно алгоритмам, заложенным в функционирование системы автоматизированного управления доразработкой, блок – схема которой приведена ниже.

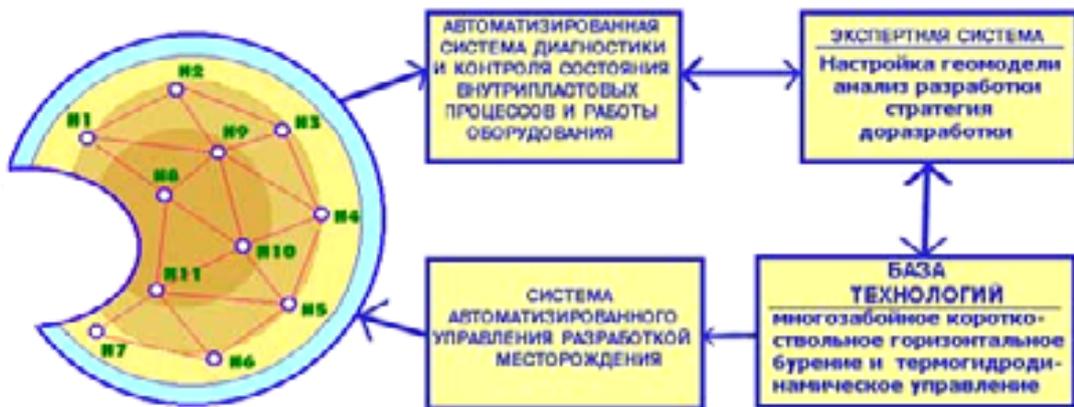


Рис.1. Блок – схема функционирования системы автоматизированного мониторинга и управления, для технологической программы „Целик”.

На рис.1. показаны основные, внешне управляемые, информационные блоки и информационные потоки. На блок – схеме показано, что система замкнута отрицательной обратной связью. Приведем характеристики объекта управления и кратко опишем функционирование основных составляющих этой системы.

Система состоит из системы измерений и исполнительных механизмов, установленных на промышленном оборудовании, автоматизированной системы диагностики и контроля состояния внутрипластовых процессов и работы оборудования, экспертной системы, базы технологий и критериев оптимального управления и системы автоматизированного управления разработкой месторождения.

## Технологические операции в проекте "Целик"

Планируемое для доразработки месторождение вскрыто системой эксплуатационных скважин. В предыдущий период на промысле осуществлены традиционные технологические схемы разработки. Все действующие скважины месторождения, или их часть используют в данном проекте интенсификации разработки. Для этого основную геологическую, горно-технологическую и промышленную «старую» и «новую» информацию анализируют и вводят в базу данных программного обеспечения системы средствами автоматизированной системы диагностики, мониторинга и контроля состояния внутрипластовых процессов и работы промышленного оборудования. Исходные данные и данные, которые, в процессе доразработки постоянно пополняют за счет мониторинга (контроля) разработки, составляют

основу базы данных экспертной системы. Это означает то, что параллельно с созданием инфраструктуры, проводят детальную разведку недр - пилотного участка, определяют местонахождение целиков нефти системой межскважинной сейсмоакустической томографии (12-15 профилей). Методами специальной обработки геологических и геофизических данных выделяют перспективные зоны и определяют количество и направление боковых и горизонтальных стволов.

Основное назначение экспертной системы (система – Эксперт) это перманентное моделирование процесса извлечения углеводородов. Для этого, с одной стороны, привлекают формализованную базу технологий (классические уравнения Маскета-Мереса [13], уравнения интегрального метода расчета динамики изосат (ИМРДИ) [6] и др. в конечноэлементной дискретизации пространства при гидродинамическом моделировании многофазных внутрислоевых процессов фильтрации при вертикальном, наклонном и горизонтальном расположении стволов скважин для определения показателей разработки нефтяных, нефтегазовых, нефтегазоконденсатных залежей и/или пластов) при заводнении, формировании оторочек, газовом, физико-химическом, неизотермическом и др. воздействии на пласт, и, с другой стороны, используют критерии оптимального управления процессами разработки и добычи.

Каждый цифровой «проигрыш» показателей разработки сравнивают с показателями, получаемыми на математической модели истории разработки, а также с текущими показателями разработки и параметрами и характеристиками работы скважин, трубопроводов, емкостей и др. оборудования. По выявленному расхождению между реальными параметрами и параметрами модельного процесса на основании критериев оптимального управления объектами с распределенными параметрами вырабатываются изменения режимов и технологических мероприятий – оперативные решения. Технологические оптимальные решения сформированные таким образом, являются режимами работы промышленного оборудования. Цифровые решения преобразуют в воздействия. Система автоматизированного управления САУ разработки реализует эти воздействия в виде тензора конкретных управляющих воздействий (режимных параметров работы устройств и оборудования), которые на них поступают.

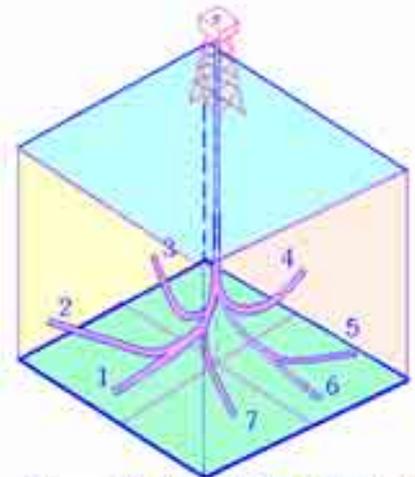


Рис. 2. Схема многоствольной скважины. 1-7 - короткие стволы

В период бурения новых стволов из каждой скважины, принадлежащей участку, методом управляемого разветвленно-горизонтального бурения (автор прототипа – А.М. Григорян [15]) используют сейсмотомографический инклинометр. Эта система, в отличие от традиционных инклинометров, позволяет точно производить мониторинг траектории бурения каждого горизонтального ствола и, самое главное, управлять этим процессом путем расчетов для каждой точки режимов бурения и указанием мест расстановки отклонителей, уипстоков и др. необходимых буровых инструментов и приспособлений.

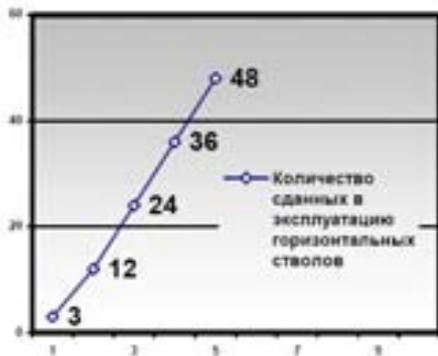


Рис. 3. Динамика роста боковых горизонтальных стволов из «старых» вертикальных стволов скважин.

Изготавливают систему автоматизированного экспертирования - „Эксперт”, которая оценивает параметры текущего состояния процесса разработки на участке с использованием данных, которые поступают от датчиков системы мониторинга технологических пара-



метров пилотного участка и от датчиков добывающего и др. оборудования.

Затем формируют динамическую постоянно-действующую модель истории разработки пилотного участка залежи путем настройки цифровой пространственной фильтрационной модели флюидов в пластах с учетом его дренирования системой вертикальных и горизонтальных стволов на основании геомодели части или всего месторождения системой «Гезор-3DM».

Разбуривание участка ведут системой коротких горизонтальных стволов целенаправленно в зоны повышенной нефтенасыщенности, то есть в сторону «целиков» нефти, запасы которых предварительно разведывают системой «Гезор-3DM» и оценивают системой «Эксперт». Стоимость углеводородного сырья каждого «целика» нефти, который извлекают в определенный срок разработки, с определенными режимами управления, значительно превышают стоимость затрат на их добычу в соответствии с технологиями, предложенными в данном проекте.

Ориентировочная схема разбуривания показана на рис. 2. Количество горизонтальных стволов, пробуренных из каждой „старой” эксплуатационной колонне скважины, определенное и его значение, принятое в данном проекте - не менее 4. Направление траектории каждого горизонтального ствола определяется расположением ближайшего «целика» нефти и его максимальным запасом сырья, разведанного и определенного методом межскважинной сейсмоакустической томографии.

Одновременно с этим, по мере введения пробуренных стволов в эксплуатацию, планируется проведение улучшенной промышленной подготовки добытой нефти за счет ее промышленного предварительного крекинга в небольших промышленных установках (мини-заводах: установки КНТ-100-10,0 и МЗКХ 20-2-25) и осуществляют ее дальнейшую реализацию в виде светлых нефтепродуктов. Добыча углеводородов запланировано проводить механизированным способом за счет оснащения скважин участка новым насосным оборудованием – думажными насосами НД -80 вместо станков-качалок.

Отметим, что производительность насосно-компрессорного оборудования каждой скважины изменяют во времени в соответствии с регламентными режимами работы данного оборудования, которые формирует система автоматического управления разработкой залежи (участки залежи). Режимы работы оборудования (дебиты, расходы, устьевое давление, нефте-газо-водосодержание и др.) выбирают, исходя из стратегии наиболее полной добычи углеводородов при минимальных затратах, максимальной экологической чистоте процессов добычи и минимальных нарушениях коллекторных свойств нефтенасыщенных пластов.

Учитывают, что нефтеводонасыщенность пласта (участка месторождения), постоянно изменяется во время процесса разработки за счет отбора нефти из пластов и естественного или искусственного замещения нефти водой, её регулярно подвергают мониторингу технологией томографирования. Данные этого томографирования постоянно обновляют для экспертной системы (производят мониторинг). Режимы работы оборудования нефтепромысла корректируют системой автоматизированного управления (САУ разработкой).

При использовании программы «ЦЕЛИК» для интенсификации разработки месторождений тяжелой (высоковязкой) нефти добавляют технологические операции, связанные с внутрискважинным разжижением нефти и устьевой подготовкой нефти. Такие операции выполняют устройства – внутрискважинный кавитатор ПСК 2-25-10М и наземный устьевой кавитатор КНТ 10,0-100. Данные устройства запатентованы [5-6].

## Сетевое планирование и управление

Совокупность последовательно-параллельного выполнения во времени всего комплекса организационных мероприятий (этапов), разработки, монтажа, испытания и пуска необходимого нового оборудования, оснащения скважин необходимыми измерительными системами и отдельными устройствами, каналами промышленной связи, программного обеспечения, бурения, и эксплуатация отдельных элементов и всего комплекса технологической программы проводится согласно обобщенного план – графика последовательности работ, который отображен на рис. 4.

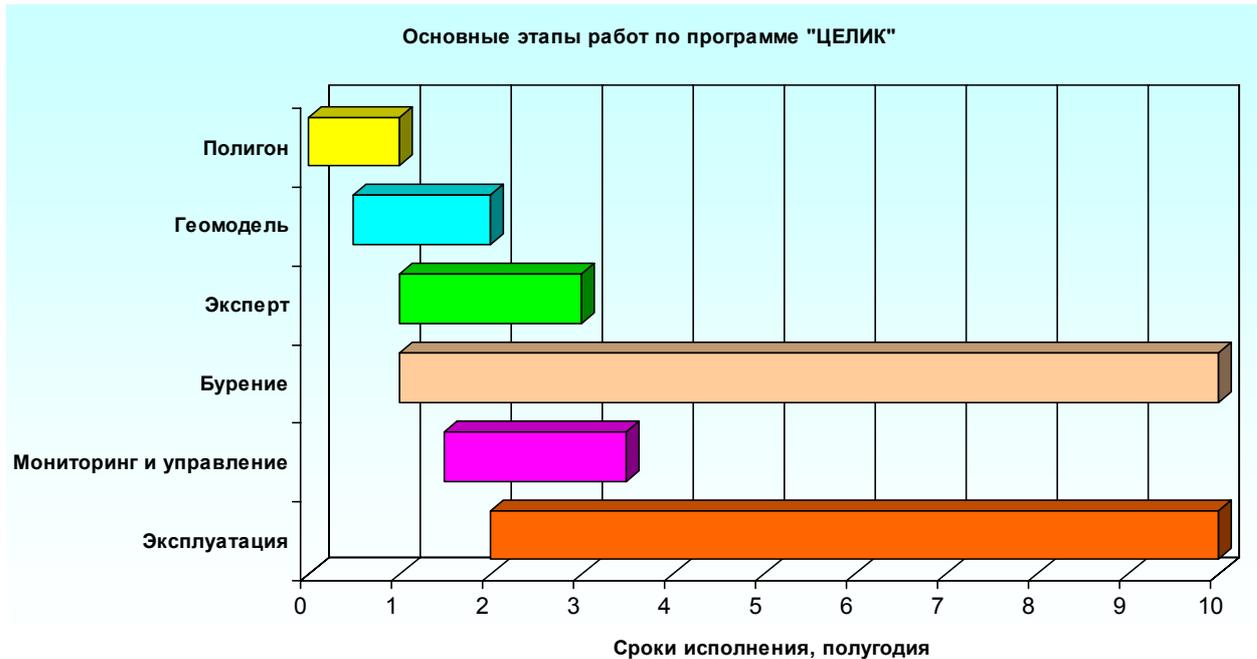


Рис. 4. План – график проведения основных мероприятий по внедрению программы „Целик” на пилотном участке нефтяного месторождения.

### ЭТАПНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ:

- **Полигон** это создание инфраструктуры полигона, организация жилья и офиса, (ремонт, при необходимости подъездных путей, оборудование площадок для установки бурового станка АОРС – 80, приобретение нового оборудования, аренда оборудования, закупка и создание материальной базы, анализ состояния скважинного фонда, каротажные работы, капитальный ремонт скважин;
- **Геомодель** это проведение полномасштабного анализа существующей геолого-промышленной информации и ввода этой информации в базу данных, проведение начального этапа детальной разведки; построение интерактивной геологической модели разведанного участка залежи;
- **Эксперт** это установка, испытания и пуск оборудования, разработка и адаптация программного обеспечения экспертной системы и системы автоматического управления.
- **Бурение** это проектирование и разбуривание участка системой коротких, горизонтальных стволов из вертикального ствола первой и последующих скважин с использованием сейсмотомографического инклинометра; заканчивание и пуск новых боковых горизонтальных стволов;
- **Мониторинг и управление** оснащение устьев скважин, емкостей и трубопроводов датчиками;



- **Эксплуатация** это комплекс мероприятий, связанных с установкой и сменой скважинного оборудования, элементов промышленного трубопровода, элементов системы управления оборудованием, датчиков, приборов, системы сбора и промышленной подготовки углеводородов, текущего ремонта промышленного оборудования, капитального ремонта скважин и обеспечения безопасной эксплуатации оборудования и скважин.

## **Исходные данные для экономических расчетов**

Объектом для испытания проекта «Целик» и для проведения начальных расчетов может стать любой участок обводненного месторождения стран СНГ или иной страны (например, для Украины – пласт П<sub>3</sub> Гнединцевского нефте-газо-конденсатного месторождения НГДУ „Черниговнефтегаз” ОАО „Укрнефть”) или аналогичный пласт любого другого месторождения с достаточно цементированным коллектором. Далее на рис.3 и 5. отражена динамика основных показателей, приведена в табл. 1. Исходные данные для расчетов приведены в данном разделе и в табл. 2.

Выбор объекта доразработки основан на том, что этот участок нефтяного месторождения на данный момент истощен и обводнен. Он находится на поздней, завершающей стадии разработки. Стволы скважин, крепление обсадных колонн на объекте должны быть в удовлетворительном техническом состоянии. Продуктивные коллекторы на объекте дренированы системой из 10 или 12 «старых» вертикальных стволов скважин. Сетка скважин 400 – 500м. Текущая обводненность продукции скважин составляет 95 и более процентов. Объем добытого в предыдущие годы углеводородного сырья на указанном месторождении, например Гнединцевском, составил более чем 30 млн. т. Месторождение вступило в позднюю стадию разработки.

При всех прочих усредненных коллекторских характеристиках и физико-химических характеристиках флюидов выбираем пласт со следующими свойствами. Количество нефтенасыщенных горизонтов – 1. Мощность продуктивного горизонта 10–15м. Нефтеносная площадь 1,0 км<sup>2</sup>. Остаточная нефтенасыщенность на начало доразработки 50 - 70%. Конечная нефтенасыщенность от 25 до 35%. Открытая пористость от 20 до 25%. Количество планируемых к бурению горизонтальных стволов на каждую «старую» скважину, согласно приведенной на рисунке схеме от 3 до 7. Плотность нефти в пластовых условиях 0,88 т/м<sup>3</sup>. Вязкость нефти в пластовых условиях 1 – 5 мПа·с. Проницаемость от 0,5 до 1 мкм<sup>2</sup>. Коэффициент охвата участка системой разветвленных горизонтальных стволов, направленных в стороны зон повышенной нефтенасыщенности (целиков нефти) для многозабойной скважины со стволами в одном горизонте от 80 до 90%. Степень совершенства вскрытия призабойных зон скважин участка – 0,9. Средний дебит одного, вновь пробуренного, горизонтального ствола составляет 10т/сут. Усредненная скорость проводки горизонтального ствола 15 – 20 м/сут. Ориентировочная стоимость одного горизонтального ствола, длиной 0,2 – 0,3 км (по данным НГДУ «Чернушканефть», ООО «Каманефть» РФ, 2000 г.) - \$ 100 тыс.

## **Проведение расчетов и их результаты**

Для расчета плановых экономических показателей данного проекта были проведены предварительные расчеты. Результаты расчетов показателей внесены в таблицу 1. Показателями являются общие значения накопленной добычи нефти, капитальных вложений, планируемый объем добычи нефти, прогнозируемая выручка от реализации добытой продукции и доход (с отчислением капитальных вложений) для первых пяти лет эксплуатации обводненного участка залежи, площадью в 1 кв. км. Все приведенные в табл. 1 данные характеризуют изменение (динамику) указанных величин состоянием по годам и полугодиям.

Таблица 1.



Годы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
полугодия	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Количество горизонтальных стволов, ед.</b>	0	3	9	15	21	27	33	39	45	48
Накопленная добыча нефти из горизонтальных стволов, тыс. т	0	2,5	17,0	47,0	63,0	81,0	99,0	117,0	135,0	153,0
<b>Капитальные вложения, тыс. дол. США</b>	4257,0	5549,0	7357,0	9170,0	10768,0	12178,0	13708,0	15268,0	16878,0	18538,0
<b>Выручка от реализации нефти млн. дол. США при стоимости 1 тонны нефти - 196 дол. США</b>	0	490,0	5298,0	8820,0	12348,0	15876,0	19404,5	22932,0	26460,0	29988,0
<b>Выручка, за минусом кап. вложений, тыс. дол. США</b>	-4257	-3785	-2059,0	-350,0	1580,0	3698,0	2696,0	7664,0	9582,0	11450,0

Основные капвложения в программу необходимы в течение первых трех лет. Они идут на основные и вспомогательные средства и технологии, разработку необходимых технологических средств, составных элементов проекта «Целик». Основные вложения, также, идут и на буровые работы. А уже после 5 лет затраты идут лишь на поддержку эксплуатационных расходов, связанных с обслуживанием скважин и системы контроля, диспетчеризации, текущего экспертирования и поддержку системы управления добычей сырья в нормальном рабочем состоянии. Об этом иллюстрируют экономические и технические показатели, которые внесены в табл. 1.

В первом полугодии затраты направлены на: создание инфраструктуры полигона, создание материальной базы и анализ состояния скважинного фонда; проведение полномасштабного анализа геолого-промысловой информации и ввода этой информации в базу данных, проведение начального этапа детальной разведки; построение интерактивной геологической модели разведанного участка залежи; разбуривание участка системой коротких, горизонтальных стволов из вертикального ствола первой скважины с использованием сейсмотомографического инклинометра; пуск новых стволов; оснащение устьев скважин, емкостей и трубопроводов датчиками; разработку и установление экспертной системы и системы автоматического управления.

Во втором полугодии запланирован пуск первых четырех ответвленных, горизонтальных стволов из вертикального ствола первой скважины. Потом обеспечивают бурение и пуск еще нескольких коротких горизонтальных стволов из соседней скважины. Разбуривание продолжают вести до тех пор, пока в эксплуатацию не войдут все горизонтальные стволы всех скважин участка. По мере введения горизонтальных стволов в эксплуатацию проводят обустройство устьев скважин и их призабойных зон необходимым оборудованием и устройствами, проводят добычу нефти из них. Изъятая нефть коммерчески реализуют, а выроченные средства идут на компенсацию первичных затрат по проекту «ЦЕЛИК». Программа окупает себя уже со второго полугодия, а в 4 и 5-м полугодии, если цены на нефть останутся на прежнем уровне, будет получена прибыль.

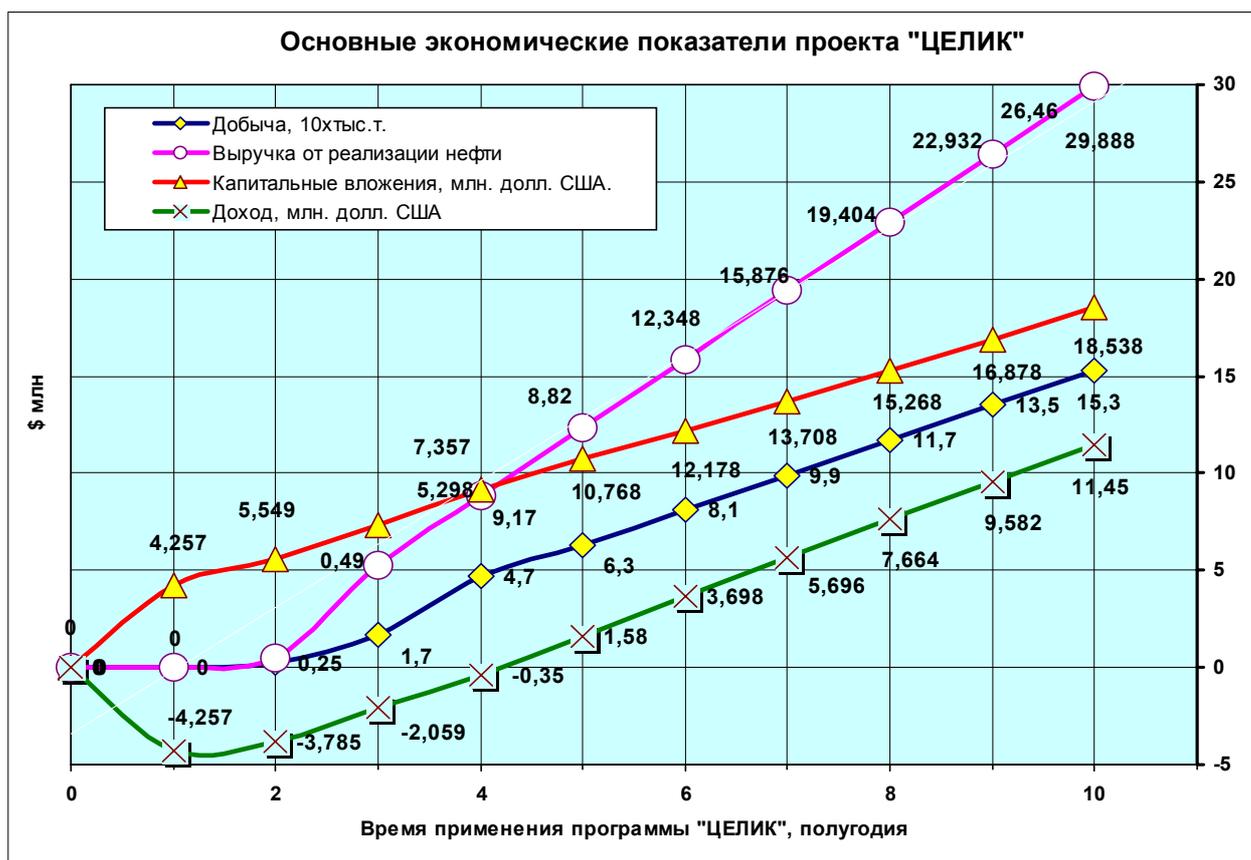


Рис. 4. Динамика показателей от применения проекта «Целик». В данных расчетах (пессимистичный вариант) приняты самые неблагоприятные условия при реализации проекта. В тоже время, оптимистические условия реализации проекта показывают увеличение показателей почти на два порядка – особенно выручки и дохода.

Прибыль от применения всего комплекса технологических компонентов (операций) проекта «Целик» формируют не только за счет разницы между выручкой от реализации добытой нефти, капитальными и текущими затратами, вложенными при внедрении технологической программы, но и за счет вовлечения в разработку целиков. Т.е. за счет интенсификации разработки и увеличения коэффициента охвата участка системой разветвленно-горизонтальных стволов скважин. Текущая нефть - водонасыщенность пластов, производительность скважинного оборудования, количество горизонтальных стволов и их «совершенство», а также целый ряд других характеристик пласта и промыслового оборудования определяет текущие значения обобщенных экономических показателей проекта «Целик». Наиболее значимые из них это: капитальные затраты, объем нефти, добытой с помощью данной совокупности технологий и технологических средств, выручка от реализации этой нефти, и, конечно, прибыль. Изменение во времени этих расчетных экономических показателей, и соотношения между ними показывают, что капитальные вложения на технологию уменьшаются во времени, тогда как объем добытой нефти, ее реализация и разница между ними является возрастающими функциями со стабильным развитием на первый период доразработки пилотного участка месторождения. Несомненно, что запас извлекаемого сырья будет, со временем, истощаться, поэтому, на следующем периоде эксплуатации участка месторождения, классическая кривая добычи будет выполаживаться, достигнет своего максимального значения и, затем, примет характер убывающих кривых. Соответственно будут убывать кривые выручки и дохода.

Из анализа динамики основных экономических показателей, отображенных на данном графике (рис.4), в частности, финансовых показателей (см. ниже приведенную табл.2) и других интегральных характеристик (табл.1,2) можно сделать вывод о перспективности и экономической привлекательности данного проекта. Отметим, что проектная рентабельность составляет более 500%. Следовательно, использование технологий, представленных, здесь, которые составляют комплексную технологическую программу – проект «ЦЕЛИК»



целесообразно использовать для истощенных месторождений в условиях высокой обводненности продукции этих месторождений.

## ВЫВОДЫ

1. Планируемая численность всего состава рабочих, инженерно-технических и научных работников, задействованная в реализации проекта достигает 45-50 человек.

2. В табл. 2. составлена и приведена стоимость расходов всего комплекса работ по указанной программе. Отметим, что в таблицу не введены накладные расходы, объем которых будет составлять, в зависимости от инфраструктуры, местонахождения пилотного участка месторождения и его состояния, в среднем, от 300 до 400 тыс. долл. США в мес., соответствующих выполнению работ по данной программе.

3. Приведенные экономические и технические показатели рассчитаны для первого опытного (пилотного) участка обводненного месторождения. Все капитальные затраты для следующих участков или отдельных групп скважин, в сопоставлении с расходами и затратами для первого участка намного меньше. Это достигается тем, что большинство необходимого транспорта и оборудования уже закуплено на первом шаге программы. И в последующем используют это оборудование, механизмы, приборы и автотранспорт.

4. Хотя проект разработан для участка с 10 – 12 скважинами, но при его реализации для большего количества скважин, например, 50 скважин, т.е. при расширении участка в пять раз, расчетные экономические показатели программы намного меньше, чем их простое пятикратное увеличение.

5. Многовариантные расчеты показывают, что общий объем капитальных затрат на реанимацию, предположим, 50 скважин, интенсификацию, например, разработки Гнединцевского нефтегазового месторождения НГДУ „Чернігівнафтогаз” ОАО „Укрнафта” на пять лет составят не более чем 251 млн. 114 тыс. грн. Всего через 3 года дебит этих же 50 скважин покрывает расходы и дает доход более чем в 1500 млн. долл. США. Инвестиционные средства в виде капитальных вложений возвращают менее чем за 5 лет. Коэффициент нефтеизвлечения из этого участка составит, по меньшей мере, величину, вдвое - втрое больше существующей. При этом общий объем последующей добытой нефти из этого участка составит, по меньшей мере, от 2,5 до 5 млн. т.

6. Анализ состояния разработки многих обводненных нефтяных месторождений Украины, РФ и др. стран дает основание и указывает на то, что применение для них комплекса технологий, входящих в проект „Целик” является наиболее перспективным. Поэтому государственную и не государственную поддержку предложенных нами мероприятий считаем целесообразной как для Государств, так и для отдельных нефтегазовых компаний.

## НОВАЯ СТРАТЕГИЯ ДОРАЗРАБОТКИ НЕФТЯНОГО ОБЪЕКТА.

Эта стратегия разработки и доработки относится, в первую очередь, к истощенным и обводненным месторождениям, а также месторождениям высоковязкой нефти с хорошо цементированными скелетами коллекторов, имеющими средние петрофизические параметры, хотя каждый объект надо анализировать. Не исключено, что при освоении новых месторождений, эти методы и средства, также актуальны.

Реализация стратегии на каждом временном отрезке - двухшаговая.

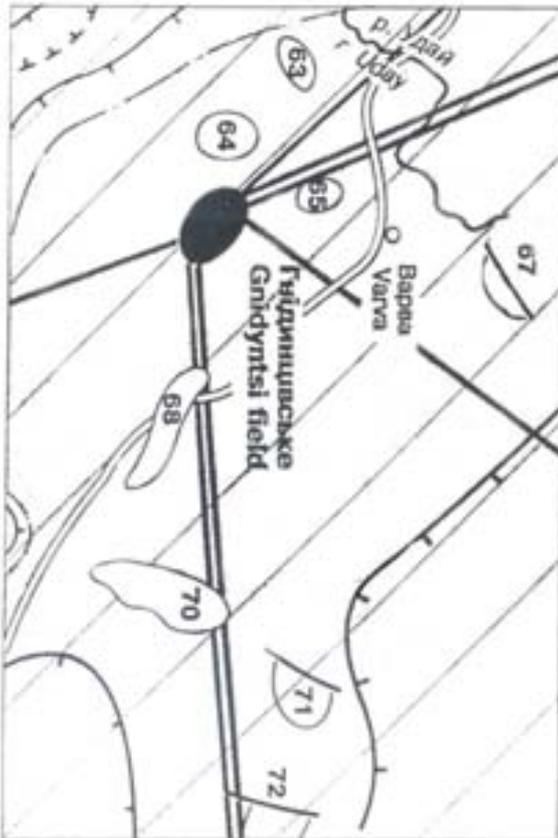
**На первом шаге** применяется дешевая, но точная технология детального построения геологической модели. На ее основе методами имитационного моделирования всесторонне анализируют состояние разработки и формируют технологические решения оптимального воздействия на залежь. На основе выработанных решений производится **второй шаг** - используют новые, управляемые и контролируемые технологии разбуривания, добычи и ее интенсификации, преобразования углеводородного сырья в скважине и интенсификации разработки залежи на участке и в «целом».

Поначалу планируется осуществление программы локально, т.е. только на опытном участке. При получении положительных результатов стратегию следует распространить на всё месторождение. Для этого на одном из выбранных обводненных месторождений, следует выбрать полигон для испытания указанной технологии, провести на нем детальную геологическую разведку системой «ГЕОЗОР», построить интерактивную геологическую модель опытного участка. На ней выделить перспективные нефтенасыщенные зоны и определить количество горизонтальных стволов, необходимых для их дренажа. Далее, на основании результатов детальной разведки, провести работы по бурению, заканчиванию и пуску новых горизонтальных стволов из «старых» скважин, ориентированных в целики нефти. Параллельно с буровыми работами, провести установку системы автоматического контроля. Одновременно с другими мерами, используя цифровую геологическую модель, выполнить моделирование истории разработки залежи для настройки цифровой пространственной фильтрационной модели разработки месторождения с учетом его дренирования системой вертикальных и горизонтальных стволов. Синхронно с этим, планируется осуществлять автоматизированное экспертирование состояния процесса разработки на опытном участке с использованием данных, поступающих от полигонной системы контроля технологических параметров добывающего и др. оборудования. В процессе разработки опытного участка осуществлять оптимальное управление режимами технологического оборудования.

Для этого необходимо провести следующие, перечисленные ниже, этапы работ.

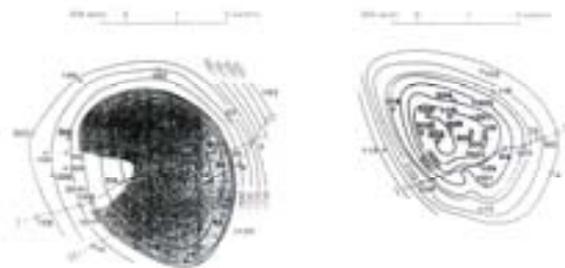
## Обустройство месторождения (Организационные и подготовительные работы)

- ❖ Оформление лицензионных и разрешительных документов, заключение договоров.
- ❖ Изучение геолого-промысловых условий и других материалов, относящихся к участку (месторождению).
- ❖ Промысловые испытания комплекса технологий на одной скважине.
- ❖ Анализ испытания технологии на одной скважине и принятие решения о распространении технологии на всю залежь.
- ❖ Проектирование и обустройство месторождения (1-й этап), в том числе:

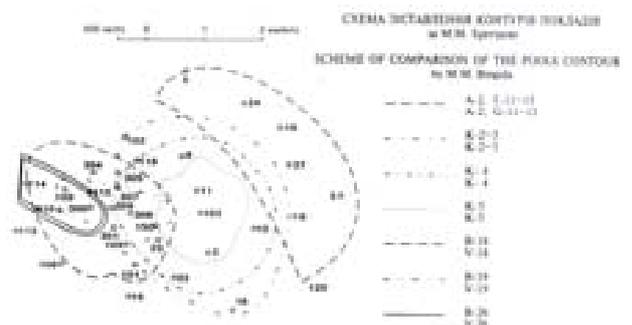


- Подготовка и обустройство устьев скважин, коллекторов сбора и подготовки нефти;
- Геодезические и геофизические работы по скважинному фонду, инклинометрия и картаж стволов скважин;
- Диагностика и анализ состояния всего скважинного фонда участка;
- Ремонтные работы в скважинах;
- Дооснащение участка газосепараторами и накопительными емкостями с системами пожаротушения, энергоснабжения и канализации;
- Восстановление (воссоздание) дорожно-транспортной сети для коммуникации с добывающими скважинами;
- Строительство системы по обезвоживанию, обессоливанию и обессериванию нефти;
- При необходимости строительство нефтеналивной эстакады;
- Создание трубопроводной системы на месторождении;
- Создание системы поддержания пластового давления на месторождении.

## Анализ коллекторов месторождения и детальная доразведка



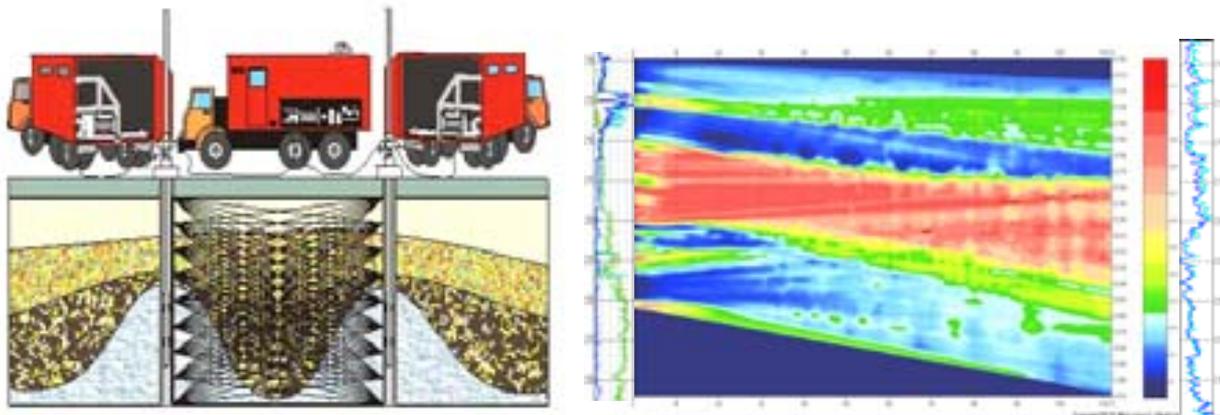
- Уточнение пространственных координат стволов скважин в геомодели месторождения.
- Построение границ пластов по имеющимся геофизическим данным в системе «Геозор 3D»



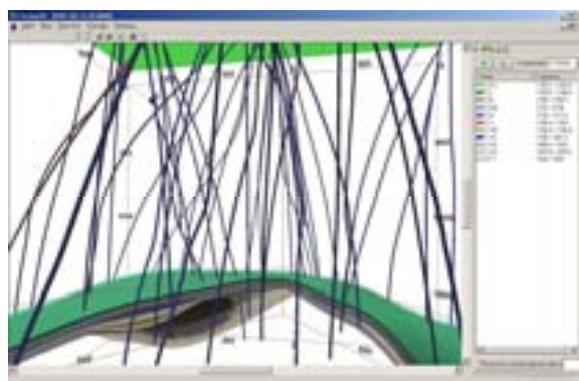
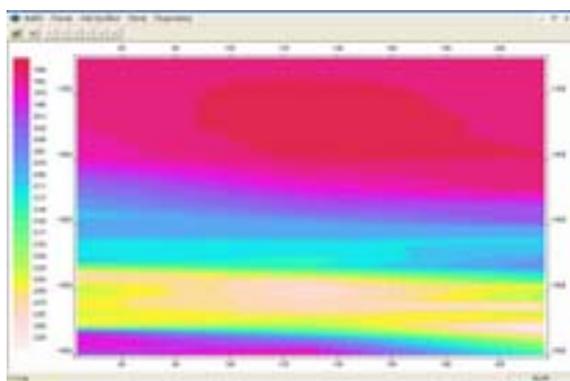
- Проектирование детальной разведки геологических структур методом сейсмоакустической межскважинной томографии – МСАТ.



- Исследование стволов и забоев скважин и подготовка скважин для геофизических исследований.
- Обустройство устьев скважин геофизическим оборудованием.
- Проведение, при необходимости, бокового бурения для отбора кернов.
- Проведение геофизических работ (каротаж, инклинометрия, исследование образцов кернов и флюидов в лабораторных условиях).



- Проведение сейсмоакустического межскважинного сканирования и обработка геофизических данных с целью построения пространственной интерактивной геологической модели месторождения с целью уточнения и подсчета запасов, выбора зон перспективного разбуривания залежи системой коротких горизонтальных стволов..

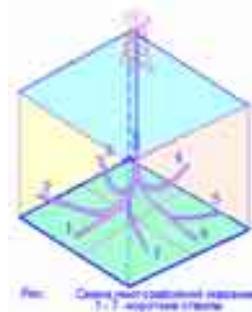


- Проектирование и обустройство месторождения (2-й этап).

## Проектирование и проведение бурения



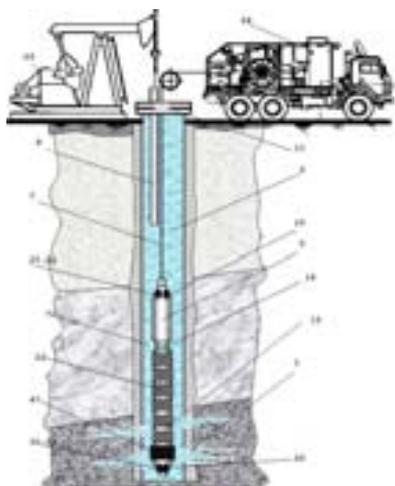
- Проектирование разбуривания «старых» скважин методом направленного разветленно-горизонтального бурения по модифицированной „зрячей” технологии А.М. Григоряна
- Проведение буровых работ
- Вызов притока и пуск новых стволов скважин
- Обустройство устьев скважин
- Проектирование и обустройство месторождения (3-й этап)





- Проектирование разработки месторождения методом эксплуатации разветвленно-горизонтальных скважин
- Внедрение системы разветвленного короткоствольного горизонтального бурения и обустройства разветвленных скважин в соответствии с технологией "ЦЕЛИК"
- Проектирование и обустройство скважинного фонда системой контрольно-измерительной аппаратуры
- Проектирование и обустройство месторождения системой автоматизированного управления интенсификацией разработки

### Отработка технологии внутрискважинной подготовки сырой нефти



- Отработка параметров оптимального управления технологическими режимами скважинного прибора – кавитатора на испытательном стенде СГАК-4-25
- Проектирование, изготовление, испытание в производственных и промысловых условиях опытной партии скважинных приборов – Кавитаторов, предназначенных для обработки нефтяных скважин, добывающих вязкую нефть.
- Оснащение забоев всех разветвленно-горизонтальных скважин кавитаторами и согласованная, управляемая добыча на всем скважинном фонде.

### Промысловая подготовка, транспорт и переработка нефти



- Отработка технологий подготовки нефти (очистка, дегазация, обезвоживание, обессеривание) и их применение на трубном кавитаторе КНТ 10,0-100 промысловых условиях.
- Проектирование и изготовление мини завода МЗХКН 20-2-25 по предварительной нефтепереработке (технология ультразвукового крекинга нефти – Институт нефти УАН)
- Установка, пуск, опытно – промышленная эксплуатация мини завода МЗХКН 20-2-25 по промышленной переработке нефти и нефтепродуктов.
- Маркетинг и сбыт моторных топлив на месте.
- Разработка, монтаж и установка мини заводов по производству масел и другой нефтехимической продукции на месте.

### Эксплуатационные работы

- Проектирование и обустройство месторождения (4-й этап, завершающий)
- Массированное использование технологии внутрискважинного холодного крекинга нефти и её добычи в системе разветвленных горизонтальных стволов скважин
- Обустройство месторождения (участка) адаптивными (думающими) насосами НД-80
- Эксплуатация скважин



- Сбор, переработка нефти, транспорт и сбыт нефтепродуктов инновационная и маркетинговая деятельность.
- Автоматизированное управление процессом оптимальной разработки участка (месторождения).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. **Войтович А.В.** Нефтедобывающая технология «ЦЕЛИК». Состояние и перспективы. К., Новини енергетики. 2000, №6.,с. 15-26.
- [2]. **Войтович А.В.** Особенности технологии внутрискважинной томографии для детальной разведки нефтегазовых месторождений К.// Новини енергетики. 2001, № 1-2,с. 51-64.
- [3]. **Войтович А.В.** Своя нефть в Украине будет, если будет новая отраслевая политика. К.// Нефть и газ. 2005, № 2,с. 68-76.
- [4]. **Войтович А.В.** Нефть в Украине будет, если поменяем политику и кадры К. // Винахідник та раціоналізатор. 2005, № 1,с. 10-18.
- [5]. **Войтович О.В. і Дяченко В.С.** Спосіб обробки привибійної зони свердловини, спосіб крекінгу нафти та пристрій для їх реалізації. Патент України на винахід за № 64688. Пріоритет від 15 травня 2002р.
- [6]. **Войтович А.В. и Дяченко В.С.** Способ обработки призабойной зоны скважины, способ крекинга нефти и устройство для их реализации. Патент РФ на изобретение за №2285793. Приоритет от 15 мая 2002г.
- [7]. **Войтович А.В., Гавура В.Е., Островский С.А.** Применение системы внутрискважинной томографии для контроля за разработкой месторождений. //Нефтяное хозяйство, 1997. №12, с.43-47.
- [8]. **Войтович А.В., Илюхин А.Г., Скрипачев В.В.** Интегральный метод расчета динамики фазовых насыщенных и вопросы синтеза гибридной вычислительной системы для моделирования нефтяного месторождения и управления его разработкой. Пробл. модел. в енергет.- Препринт 118, 1988. 24 с.
- [9]. **Войтович А.В., Поздеев А.В.** Скважинная цифровая геоакустическая станция. — Пат. РФ № 2050012, приоритет от 24.03.1992 г.
- [10]. **Войтович А.В., Садыков М.Р., Печёркин М.Ф., Качкин А.А., Тимонин А.Б.** Сейсмическая томография – новое направление изучения недр Урайского региона. – Докл. на геолог. совещ. : Пути повышения эффективности геологоразведочных работ предприятий группы «Лукойл», М., 15 – 17 июня 2004 г
- [11]. **Гавура В.Е.** Геология и разработка нефтяных и газонефтяных месторождений – М.:ВНИИОЭНГ, 1995 – 496 с.
- [12]. **Гавура В.Е., Джавадьян А.А., Сафронов В.И.** Проблемы разработки крупных и уникальных месторождения России и вопросы геофизического контроля. — М.: Нефтяное хозяйство, 1997. № 1. — с. 22-30.
- [13]. **Гавура В.Е., Коноплев Ю.В., Обухов О.К.** Изучение межскважинного пространства для оценки выработки нефтяных пластов.-М.: Нефтяное хозяйство, 1999, №3.- с.58-62.
- [14]. **Григорян А.М.** Вскрытие пластов многозабойными и горизонтальными скважинами, М., 1969.
- [15]. **Карус Е.В., Кузнецов О.Л., Файзуллин И.С.** Межскважинное прозвучивание. — М.: Недра, 1980, 150 с.
- [16]. Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Проектирование разработки.//**Ш.К. Гиматудинов, Ю.П. Борисов, М.Д. Розенберг** и др. М.: Недра, 1983, 463 с.
- [17]. **Непримеров Н.Н.** Трехмерный анализ нефтеотдачи охлажденных пластов. 1978, 216 с.
- [18]. **Сургучев М.Л.** Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов, - М. Недра, 1985, 308 с.
- [19]. <http://www.oil-institute.com>
- [20]. **Voytovich A.V.** Technological program “PILAR”,// High – Tech Wells Russia, Oil & Gas Recovery Conference, Moscow, Russia, June 24-26, 2003.



## SUMMARY

The Oil Institute of the Ukrainian Academy of Sciences is a leading developer of new promising oil-and-gas technologies.

The Institute has developed the complete set of the following own oil-and-gas technologies:

- oilfield exploration(complex "GEOZOR 3DM");
- continuous well boring with an optimum borehole development;
- well development and starting;
- crude oil production with original "intelligent" pumping equipment;
- well stimulations, magnifying of reservoir recovery and intensification of oil-pool development;
- oil treatment and refining with high (more than 90 %) coefficient of engine fuel outcrop;
- optimum pipeline transportation of the treated hydrocarbon raw.

We have our own methods of mathematical simulation (system "EXPERT") and computer-aided expertise of oil-and-gas object conditions, and also own algorithms and system structures of automatic adaptive optimum control of oil-and-gas objects.

Applying our techniques in the Russian, Turkey and Venezuela et all. conditions will allow to reduce expenses and to receive a maximal profit in a minimum term and at stable ecological safety of objects.

The advanced technological complex of crosswell seismoacoustic exploration "GEOZOR 3DM" allows determination of the entrails geology at selected sites with a high accuracy. It allows making more exact the measured hydrocarbon raw resources and working out an optimum strategy of their extraction.

With the system "EXPERT", on the basis of detailed geological model of the field, we can perform its mathematical simulation and to build up an optimal development strategy for the oil field or its part. Simultaneously, with the help of this system, it is possible to construct operation algorithms for all links of the recovery - field treatment - refining system.

The spatial on-line geological model allows carrying out additional drilling out the reservoir by a system of directional short horizontal and tilting holes from available wells. It will magnify several times the final oil recovery.

We perform new horizontal hole making into predetermined zones of the reservoir with the use of our own original non-wearing drilling tool.

We implement hydrocarbon recovery optimal by profit and man-caused consequences with the help of new "intelligent" pumping equipment system, which provides uninterrupted and long-term delivery of raw from entrails. The pumps operate in such a way as to allow for extracted fluid properties and reservoir thermodynamic conditions so as not to change the phase and component equilibrium in the oil reservoir.

We carry out oil pre-treatment, before its extraction on the surface, immediately in wells with a special device, which was called "KAVITATOR".

On the surface, close to the wells, we install mini-refineries, which process hydrocarbon raw into gasoline directly on the site. This will reduce oil pipeline transportation expenses. And gasoline can be sold near a place of oil recovery.



## Technological program PILLAR

*The technology of oilfield development intensification by means of detailed geological exploration, reservoir expert assessment, teleological drilling of short horizontal holes into "oil pillars", monitoring and control of crude oil production therefrom.*

Technological program **PILLAR** is a complex technology of flooded oil-producing area development intensification due to detailed geological exploration, expert assessment, targeted multiface drilling of short horizontal boreholes from the old well in the direction of unflushed unworked deposit areas, monitoring and control over deposit additional development modes.

Program **PILLAR** is conditionally divided in three components:

- Detailed exploration of petroleum deposit productive horizons using the technology of crosswell tomography in order to choose horizontal boreholes trajectories optimal by expenses and efficiency;
- Drilling-in by a system of short horizontal boreholes from existing wells and their start-up;
- The all-round interactive analysis (expert assessment) during the development with the purpose of development mode automatic optimum control.

**The basic purpose** of the Program is increasing the efficiency of additional development of flooded oil fields at the final stage of their operation by means of finding oil pillars, drilling short horizontal holes in their direction and arranging expertized and controlled oil recovery from them. It is realized by making use of the most modern information technologies of oil deposit geological condition monitoring, automatic control of directionally controlled process of multiface horizontal boreholes making from old flooded unproductive wells, in combination with known extraction technologies.

The Program finalized the basic provisions concerning methodical substantiation of each technology separately and their integration into a uniform complex.

The Program's **material results** are assumed to be:

- **Infrastructure** (buildings, structures, communications);
- **Control station** equipped with facilities for holding, display and analysis of the whole system state;
- **Computation and control complex** (powerful computer center on the basis a computer workstation, digitized geologic and field information, updated geologic model of a site and the whole field, geophysical database, software and mathematical support of subsystems and the whole system);
- **Cable, telemetric and radio systems** communicating the control station with a well-indicator and other apparatus and with translating equipment, which controls the operation of downhole and surface technological equipment;
- **System of short horizontal holes** striking non-drained, blind and stagnant formation zones; equipment for oil production, transportation and preliminary distillation in the field conditions, governed by the automatic control system.

### Basic characteristics of the technologies entering the Program PILLAR

Each technology has its own methodical and hardware technological filling by way of automated complexes and processing step sequences. They are given in the following list:

- ◆ Technology of detailed geological exploration and monitoring of intrareservoir processes – development of the system of Crosswell Seismoacoustic Tomography (**CST-system GEO-ZOR-3DM**);
- ◆ Technology of automated expert assessment of reservoir state and field development process, designed for selection of an optimum strategy of field development (**System EXPERT**).



- ◆ Formalized **TECHNOLOGY DATABASE** (includes both traditional and non-traditional methods and means available at the disposal of the Program Designer);
- ◆ Prototype system of monitoring, checkup and control of the process of field development and oil recovery from the pilot site wells (**System CONTROL**). System of automated control of the field equipment operation modes – (**ADC-system**);
- ◆ Technology of Branched Short-multihole Horizontal targeted Drilling from the holes of old wells (**BSHD-technology**). Technology of special vibro-wave processing of bottoms of horizontal boreholes for their start-up.

After finalizing the Program **PILLAR** technological modes at the test site, the Program is planned to be further implemented at other sites and oilfields.

2. The Program implementation on the chosen site of an oil or oil-and-gas deposit is economically sound, even at minor recoverable reserves. The Program can be realized by **any oil-and-gas extraction enterprise**.

3. The Program should already pay back itself on the 3rd year and can progress further even at minor productive investments.

4. The Program is realizable in the presence of any kind of investment support.

#### **Advantage of the offered technology over other ones.**

Existing traditional methods of deposits development and their oil recovery increase do not provide massed utilization of multihole horizontally-branched well technology and especially of old flooded wells, therefore development terms make as a rule tens of years and oil recovery ratio makes 0.2 – 0.4 whereas the offered technology will provide several times reduction of terms at the recovery ratio from 0.5 to 0.6. In the same time, capital outlays will be cut down by two and more orders comparing with traditional technologies. Especially it concerns depleted flooded deposits at a final stage of development by traditional methods. With the offered technology, disappears the necessity of application of expensive and inefficient methods of reservoir recovery improvement. Separate Program **PILLAR**'s technologies have passed successful tests and prepared for utilization on oil-and-gas objects of Russia and Ukraine.

**Certification** – has been made of some technologies by appropriate authorities of the Russian Federation. Patents of Ukraine and Russia are available;

**Expert conclusions** - Minutes of technical meetings of different level at the oil-and-gas production enterprises and departments of branch management, including the ones of scientific and technical development, and conclusion of separate experts are available.

The Program **PILLAR** was in the whole and in parts sophisticated during the last 10 years and is provided with methodical, software and hardware support and a development team.



**A.V.Voytovich**

The general director,  
academician UAS  
Oil Institute UAS  
49 Radyanska str.  
Irpin Kyivsky reg.  
Ukraine 08200  
+38 04497 92336  
+38 04497 93888

[a\\_voytovich@mail.ru](mailto:a_voytovich@mail.ru)