

УДК 622.234.5

О.А. Ницевич, Е.Н. Цурло, А.П. Янушенко

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ДОБЫЧНЫХ РАБОТ МЕТОДОМ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ

Описан многолетний опыт отработки Тарского циркон-ильменитового месторождения в Омской области методом скважинной гидродобычи (СГД). Приведены результаты экспериментов и исследований процесса формирования добычной скважины. Проведенные опытно-промышленные работы подтверждают актуальность и эффективность метода СГД, а также обозначают комплекс вопросов, требующих дальнейшего изучения.

Ключевые слова: скважинная гидродобыча (СГД), Тарское циркон-ильменитовое месторождение, формирование добычной камеры, разрушение рудного пласта, гидромониторный размык.

Сегодня в России только на Тарском месторождении проводятся опытно-промышленные работы по добыче россыпных циркон-ильменитовых руд методом скважинной гидродобычи (СГД). Добычные работы проводятся в сложных горно-геологических условиях.

Глубина залегания кровли рудного горизонта колеблется в пределах 45,0 – 55,0 м при средней мощности пласта 4,5 м. **Вскрышные породы представлены осадками тургасской свиты и низкой поймы р. Иртыш. Поверхность участка сложена суглинками и глинами современного (голоценового) возраста мощностью от 1 до 5,5 м.**

В целом в разрезе вскрыши преобладают водонасыщенные, водопроницаемые породы – пески, супеси, суглинки. Глины распространены в подчиненном количестве и не образуют выдержаных межпластовых водоупоров.

Особенности Тарского месторождения, определяющие технологию СГД:

- отсутствие устойчивых пород кровли и наличие грубозернистых обводненных песков над богатыми рудами;

- породы кровли I – III категорий мощностью 50 м позволяют проводить подготовительные работы с относительно невысокими затратами;

- руды представлены тонко-мелкозернистыми, обводненными песками, легко переходящими в текущее состояние, и не требуют сложной конструкции добычного снаряда;

- изменчивость рудного пласта по мощности и простирианию и довольно резкое изменение содержания Zr и Ti в пласте определяют необходимость их изучения по каждой скважине;

- высокая водонасыщенность и водоотдача пород исключают использование добычных снарядов, работающих в осущеных забоях.

При проведении опытно-промышленных работ отрабатывались различные схемы разрушения рудного пласта:

- сверху вниз, горизонтальными слоями с нисходящей выемкой слоев;
- камерно-щелевая, перемещая снаряд сверху вниз, оставляя неотработанные секторы до конца отработки скважины, для удержания кровли от обрушения;
- снизу вверх горизонтальными слоями с восходящей выемкой слоёв;
- методом «обрушений» - равномерная отработка снизу с самообрушением руды.

Опыт показал, что из-за высокой обводнённости и плавунных свойств грубоэзернистых песков, залегающих над наиболее богатыми рудами, в первом и втором вариантах происходит разубоживание руды и преждевременное обрушение кровли, «щелей» и «столов» не образуется. Исследования особенностей проявления горного давления в условиях применения скважинной гидродобычи начаты только в последние десятилетия. Трудности при проведении таких исследований заключаются, прежде всего, в невозможности визуального наблюдения, а также отсутствием единой теории горного давления и единого подхода к решению задач механики горных пород и массивов. В настоящее время существует не менее десяти теорий, каждая из которых отражает действительность лишь для некоторых определенных условий и оказывается непригодной в других горно-геологических условиях. Сложность и многообразие факторов, оказывающих влияние на проявление горного давления, не всегда дают возможность с определенностью воспользоваться одной из существующих теорий горного давления [1].

Но для эффективного управления процессом добывчных работ необходимо знать не только объём камеры, но и её конфигурацию. Для решения этой задачи при проведении опытно-

промышленных работ был проведен комплекс исследовательских работ для определения размеров камер добычи и их конфигураций:

- устройство реперов скважин для определения размера добычной камеры и начала формирования провала;
- устройство глубинных реперов для определения радиуса размыва;
- геофизические исследования;
- бурение контрольных скважин после проведения добычных работ для проверки данных, полученных в результате геофизических исследований.

Глубинные репера. При производстве добычных работ в 2005 г. на трёх добычных скважинах было установлено в толще рудных песков по одному реперу на глубине, примерно на уровне боковой форсунки гидромонитора приблизительно (+ -) 0,5 метра, и на расстоянии от него 4, 6 и 6,5 метров. Кроме этого, в скважину был засыпан окрашенный щебень. Сдвиг глубинного репера фиксировался по движению привязанного к нему шлагата и выносу на поверхность окрашенного щебня и означал, что размыв камеры достиг до места расположения глубинного репера.

В первом случае при расположении репера на расстоянии 4 м от центра добычной скважины сдвиг репера произошёл через 1 час после начала добычных работ, при этом размыв изначально проводился только в сторону репера. Объём добытых песков к моменту срыва глубинного репера составил 27 м^3 .

Во втором случае при расположении глубинного репера на расстоянии 6 м от центра добычной скважины сдвиг репера произошёл через 16 часов после начала добычных работ, при этом первые 2,5 ч размыв происходил в сторону репера, затем в тече-

ние 12 ч направление размыва менялось от 30^0 до 180^0 от первоначального. После этого размыв снова производился в сторону расположения репера в течение 1 часа, затем направление размыва было изменено на 60^0 . Ещё через 20 мин произошёл срыв глубинного репера. К этому времени объём добытых песков составил 415 м^3 .

В третьем случае при расположении глубинного репера на расстоянии 6.5 м от центра добычной скважины сдвиг репера не произошёл, при этом добычные работы производились в течение 19 часов, а объём добытых песков составил 456 м^3 .

Косвенным признаком определения характера работы гидромониторной струи является процесс формирования просадки кровли добычной камеры. Несмотря на то, что просадка происходит и в противоположной стороне от направления струи, форма провала представляет эллипс, вытянутый в направлении размыва. На скважинах с сектором размыва в 180^0 при обрушении кровли происходила деформация (искривление) добычного снаряда и обсадных труб с противоположной стороны от направления размыва. После завершения работ на скважине I-9-03 зафиксирован изгиб снаряда на расстоянии 4 м от нижнего конца, угол изгиба $\approx 6^0$. Обсадная колонна была зажата. После извлечения обсадной колонны отмечен её изгиб и помягкость на расстоянии 8 м выше "башмака", угол изгиба 10^0 . Т. е. можно сделать вывод, что обсадная колонна и добычной снаряд испытывали сильное боковое воздействие.

Геофизические исследования. В 1995 году ТОО "ИНГУН—А" были проведены работы по геофизическому обследованию Тарского месторождения и определение области рас-

пространения добычной камеры. В результате обследования получена форма камеры добычи в виде кардиоида.

В 2005 году ЗАО "Геодизонд" были проведены геофизические исследования по определению изменения состояния массива горных пород в процессе проведения добычных работ методом, использующим сверхширокополосный электромагнитный импульс (СШП) (Фото 1). Результаты работ в общих чертах совпадают с данными, полученными ТОО "ИНГУН—А" [2].

Для изучения процесса формирования добычной камеры во время скважинной гидродобычи в 2006 году на Тарском циркон-ильменитовом месторождении ЗАО НПФ «Геофиз-прогноз» (г. Санкт-Петербург) был использован метод спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП), который ранее показывал высокую эффективность на многочисленных объектах: при инженерно-геофизических изысканиях, для определения зон тектонических нарушений, плытунов и карста и др. Результаты работ, проведённых на одной скважине, позволили определить направление процесса формирования камеры (рис. 1). Изменения свойств горных пород зафиксированы в направлении работы гидромониторной струи. Размеры камеры по одному проведенному опыту определить невозможно, требуются дополнительные исследования.

Проверочные скважины. В 2005 г. ЗАО "ТГПК" для проверки достоверности данных, полученных в ходе работ, проведённых ЗАО "Геодизонд", после проведения добычных работ пробурены 3 скважины. Бурение проводилось колонковым снарядом с коронкой диаметром 112 мм.



Фото 1. Геофизические исследования методом СПШ: 1 – добывчной агрегат производящий отработку скважины; 2 – провал ранее отработанной скважины; 3 – работа с аппаратурой СШП; 4 - точки измерений методом СШП; 5 – буровая установка УРБ-2А2, для бурения контрольных скважин

Скважина № 3н находилась на расстоянии 4,3 м от добывчной скважины. Бурение скважины до глубины 47 метров велось без осложнений. С интервала 45,0-47,0 был отобран керн, по которому видно, что структура пород не нарушена, выражен переход к крупнозернистым пескам. На глубине 47,0-49,0 началось интенсивное поглощение жидкости. При попытке углубиться без выхода промывочной жидкости на поверхность произошёл прихват бурового снаряда. В скважину было закачано 18 м³ воды и 12 м³ глинистого раствора. Было принято решение от дальнейшего бурения отказаться в силу высокой аварийности ситуации.

Скважина № 4н находилась в районе СШП 79, в 3,9 м от линии между двумя отработанными ранее добывчными скважинами, расстояние между которыми 13 м. Расстояния до центра добывчной скважины, на которой ранее проводились геофизические исследования ЗАО "Геодизонд", составило 6,3 м, расстояние до центра следующей скважины 9 м. Результаты бурения показали, что до 47 м фиксируется ненарушенная структура пород. Интервал 47,0-70,0 м представлен смешанными и сильно обводнёнными вмещающими породами и невозможностью определения их границ и переходов.

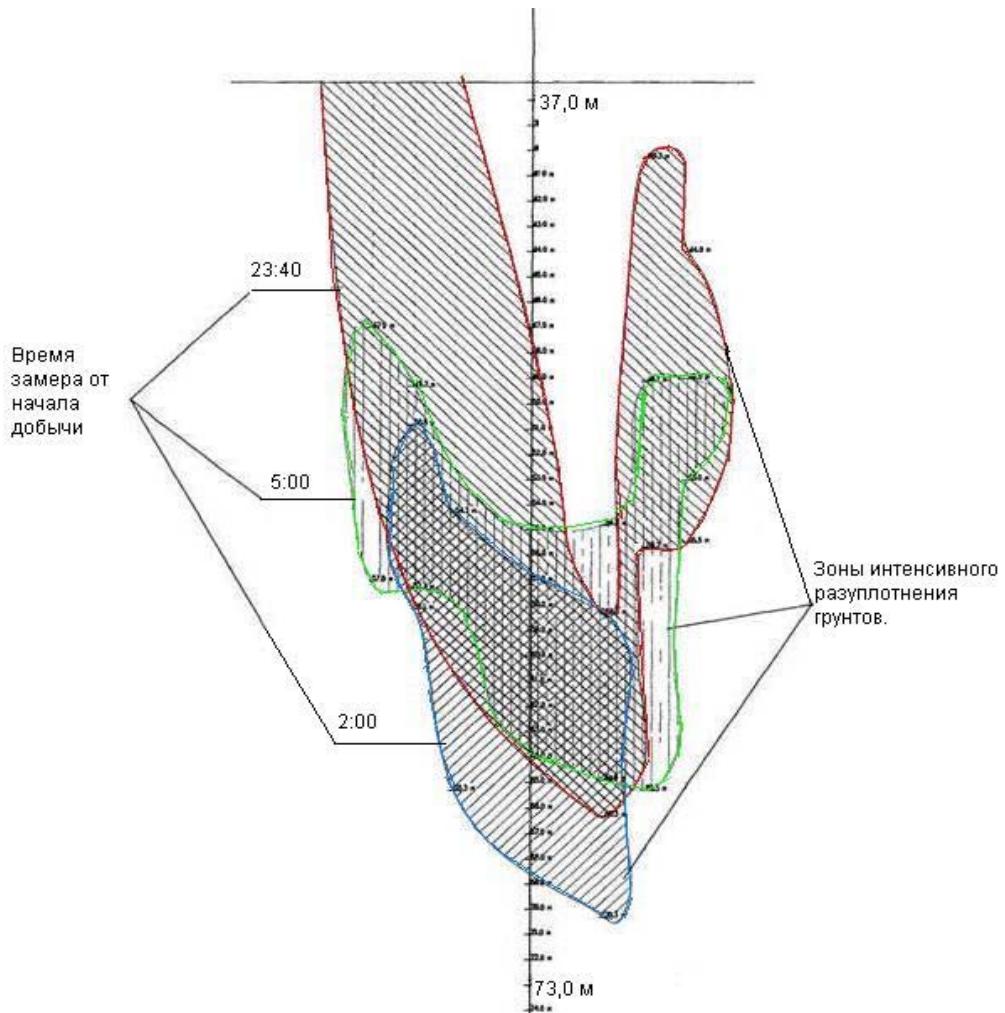


Рис. 1. Разрез камеры добычи по данным георадарных исследований

Скважина № 5н находилась в стороне от разрабатываемого профиля на расстоянии 9 м. Результаты работ показали, что до 47 м фиксируется ненарушенная структура пород. Интервал 47,0-70,0 м сильно обводнён. Таким образом, подтверждены результаты геофизических исследований по процессу формирования камеры в плане. К сожалению, подтвердить или опровергнуть данные по формированию камеры по вертикали не удалось, так как очень сложно по керну опре-

делить границы по насыщенности водой поднятой породы.

Для изучения процессов формирования добывчной камеры и ее размеров в процессе проведения добывчных работ на скважине II-14-01 был использован комплект «Fishfinder 250» фирмы «GARMIN», включающий в себя **прибор** «Fishfinder 250(010-00343-00)» и двухчастотный транцевый трансдьюсер и датчик давления «Карат ДА-0.6» (фото 2). Трансдьюсер был установлен на наружной сто-

роне добычного снаряда на расстоянии 80 см ниже боковой форсунки (Фото 2). В начальный момент работы после запуска на экране эхолота была видна четкая линия, показывающая расстояние до стенки камеры 0,8 м. При этом система обработки сигналов прибора была выставлена на максимальное шумоподавление. После 4 часов работы была предпринята еще одна попытка сделать замеры эхолотом. Снаряд находился на глубине 57 м, добычные работы не прекращались. Была проведена проверка работы на различных режимах работы: при частотах 50 кГц, 200 кГц, одновременно двумя частотами 50 и 200 кГц и шумоподавлении от минимального до максимального. Наиболее лучший результат дал двухчастотный режим работы при 50% шумоподавлении. Четкой границы стенок камеры на экране не наблюдалось. На экране наблюдалась две области: чистая и покрытая рябью, граница между которыми размыта. При повышении давления внутри камеры, т. е. в момент обвала, чистая область на экране увеличивалась, а рябь, которая, скорее всего, означает количество принятых обратно сигналов, излучаемых трансдьюсером, становилась реже. В 16⁵⁰ после 4 часов 50 минут проведения откачки по показаниям эхолота была сделана запись, что на глубине 57 м в направлении 11 сектора радиус камеры добычи составил 5 м. В 17³⁰ при очередном включении эхолот показал обрыв кабеля, который произошел в месте крепления его у муфты замка, что было подтверждено в дальнейшем при демонтаже добычного снаряда.

Для измерения давления, создаваемого в камере добычи, и динамического уровня подземных вод в процессе откачки, при проведении добычных работ на скважине II-14-01

был использован датчик давления «КАРАТ-ДА-0,6». В качестве устройства вывода информации использовался микропроцессорный измеритель-регулятор ТРМ 138.

Предварительно были проведены работы по оценке точности предстоящих замеров путем погружения датчика давления на различные глубины и регулировка измерителя-регулятора для автоматической коррекции выводимых показателей. Абсолютная погрешность измерений при этом не превышала 0,01 МПа.

Для проведения работ на скважине датчик давления был смонтирован на внешней поверхности добычного снаряда на расстоянии 30 см выше боковой форсунки (Фото 2).

Показания давления на земной поверхности равнялись нулю.

После спуска добычного снаряда в обсадную колонну, заполненную водой, на глубину 51 метр показание на устройстве вывода составляло 0,5 МПа. После включения компрессора и начала работы эрлифта давление упало до 0,26 МПа. При отработке скважины с подачей воды на гидромонитор объемом 90 м³/час и нагнетанием воздуха компрессором на эрлифт с давлением 0,4 МПа при положении форсунки на глубине 58 м давление в камере колебалось в пределах от 0,51 до 0,55 МПа. При таком режиме подачи воды и воздуха в скважину были зарегистрированы кратковременные повышения давления до пределов чувствительности датчика—0,61 МПа, при этом наблюдалось увеличение объема выноса на поверхность рудных песков и крупности материала, что отражалось на работе эрлифта—более пульсирующая подача, вибрация оборудования. Это явно указывает на то, что в этот момент произошел обвал пород внутри камеры добычи.



Фото 2. Расположение трансдьюсера и датчика давления на добычном снаряде

С уменьшением давления начиналась и более спокойная работа эрлифта.

При дополнительной подаче воздуха вторым компрессором на эрлифт давление в камере добычи упало до 0,36 МПа.

Таким образом, использование датчика давления позволило:

- определить изменение динамического уровня в скважине в процессе откачки;
- определить зависимость между обвалом пород внутри камеры добычи, повышением в ней давления и повышением нагрузки на эрлифт, что в дальнейшем позволит автоматизировать работу эрлифта в зависимости от объема поступления рудных песков к «всасу» добычного снаряда.

При любых режимах добычные работы проводились в условиях затопленного забоя.

Большое значение имеет время добычи. Постоянно ведутся работы по усовершенствованию конструкции снаряда, которая должна позволить за минимально короткий срок поднять на поверхность максимальное количество руды.

Результаты опытно-промышленных работ на Тарском месторождении практически показали возможность устойчивой добычи с одной скважины методом СГД около 500 м³ руды, достигнута производительность - 33 м³/час, максимальная - 56 м³/час. Но необходимо учитывать, что даже при кратковременных остановках добычных работ (из-за отключения электроэнергии или неисправности оборудования в любой точке технологической цепочки) резко снижаются качество руды, объемы добычи и, соответственно, среднечасовая производительность. Поэтому особое внимание

ние требуется уделять надёжности добычного оборудования, требуется иметь резервные насосное и компрессорное оборудование.

Гидромониторный размыт в затопленном забое интенсивно формирует камеру на первом этапе, что подтверждается наблюдениями за глубинными реперами и по данным геофизического зондирования. В дальнейшем формирование камеры проходит относительно равномерно по всем направлениям. В дальнейшем разрушение стенок продолжается за счёт вращательного и напорного движения потока пульпы в камере, инфильтрационных и суфозных процессов.

В значительной степени конфигурация камер определяется свойствами пород и взаимодействием с ранее отработанными скважинами.

Данные, полученные методом СШП и при бурении наблюдательных скважин, хорошо сопоставимы при определении формирования камеры в плане и позволяют наблюдать развитие камеры в процессе проведения добычных работ. Не совпадение глубин по данным СШП и проверочным бурением требует постановки дальнейших работ для определений погрешности в замерах. Анализ данных СШП по времени даёт объяснение причины невозможности заглубления добычного снаряда в ранее подготовленный ствол скважины после нескольких часов откачки. Очевидно, происходит заполнение нижней части камеры грубозернистым (галечниковым) материалом. Наличие крупных галек (до валунов) неоднократно фиксировалось в районе добычных работ при бурении разведочных скважин.

По данным ЗАО "Геодизонд", исследование точек геофизического зондирования (СШП), расположенных вокруг ранее образовавшихся провалов, показали за границей провалов разуплотнение пород средней степени ниже 37 метров ориентировочно до глубины от 40 до 60 м в зависимости от удаления от провала. Это объясняется наличием на глубине приблизительно 37 м границы между алевритами и мелкозернистыми песками, расположенными ниже. В плане камера добычи имеет форму неправильного овала, вытянутого в сторону предыдущей ранее отработанной скважины. Зона разуплотнения грунтов (вплоть до образования пустот) через 8-12 часов от начала добычи соединяется с такой же зоной ранее отработанной скважины.

По нашим представлениям, основанных на проведённых исследованиях, камера добычи во время откачки - это полость, заполненная пульпой, имеющая в разрезе сложную форму, напоминающую кардиоид, состоящий в нижней части из перевёрнутого конуса с углами откоса **от 30° до 70°**, а в верхней части из свода обрушения. При этом чётких границ камера добычи не имеет, происходит постепенный переход от состояния пульпы к интенсивно разуплотнённым породам и далее через зону высокого влагонасыщения к малоизменённым породам. **Радиус размыта камеры достигает и в затопленном забое, как минимум 6 м, что подтверждено геофизическими исследованиями, бурением проверочных и наблюдательных (реперных) скважин.**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аренс В.Ж., Бабичев Н.И.и др. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых. - М."Горная книга", 2007, с.295.
2. Ницевич О.А., Янушенко А.П. и др. «Отчёт о проведении опытно-промышленных работ на Левобережном участке Тарской циркон-ильменитовой россыпи за 1993-2006 гг.» ОАО "Тарский горно-обогатительный комбинат" 2006;
3. Самойленко В.Г. Технический отчёт «Инженерные геофизические изыскания». Договор №4/09 – 05. ЗАО «Геодизонд» г. Омск. 2005. ГИАБ

Коротко об авторах –

Ницевич О.А. - генеральный директор ООО «СПХ»; ООО «Сибирский промышленный холдинг» (Siberian Industrial Holding Ltd.)
e-mail: info@sphold.ru

Янушенко А.П. - главный инженер ООО «Сибирский промышленный холдинг» (Siberian Industrial Holding Ltd.)

Цурло Е.Н. – директор ООО «Кварц Групп»; 646970, Омская обл., Кормиловский район, рабочий поселок Кормиловка, ул. Гагарина, д. 5.



РУКОПИСИ ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Мельник В.В. д.т.н., профессор кафедры ПРПМ,
Кайдо И.И., к.т.н., доцент кафедры ПРПМ,

Хрисанов П.Е. аспирант кафедры ПРПМ,
Московский государственный горный университет,
ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДЗАВАЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ НА
ОПОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ В КОРОТКИХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ (744/03-10 от 23.12.09 г.)
6 с.

Дано научное геомеханическое обоснование влияния подзавальных целиков на опорное давление в коротких очистных забоях.

Ключевые слова: короткий очистной забой, подзавальные целики, опорное давление.

Melnik V.V., T.D., the professor of UDBD subdepartment,
Kajdo I.I., candidate of technics, the associate professor of UDBD subdepartment,

Hrisanov P.E., the post-graduate student of UDBD subdepartment,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru
GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF UNDER-BLOCKAGE PILLARS INFLUENCE
ON BEARING PRESSURE IN SHORT CLEARING FACES

It is given the scientific geomechanical substantiation of under-blockage pillars influence on bearing pressure in short clearing faces.

Key words: short clearing face, under-blockage pillars, bearing pressure.