

А. А. Каракозов, канд. техн. наук

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Выбор рациональной скважинной компоновки при бурении скважин на шельфе гидроударными буровыми снарядами и забивными пробоотборниками с подвижным колонковым набором

В статье рассмотрены вопросы использования гидроударных буровых снарядов и забивных пробоотборников с гидравлическим приводом при проходке геологоразведочных скважин на шельфе в породах песчано-глинистого комплекса. Модернизированные конструкции этих устройств имеют подвижный относительно корпуса гидродвигателя колонковый набор, а, следовательно, более рациональную ударную систему и постоянный контакт колонкового набора с забоем. Определены возможные схемы компоновок этих устройств с бурильной колонной при эксплуатации со специализированных плавучих оснований. В качестве основного критерия выбора рациональной компоновки для конкретных условий эксплуатации используется механическая скорость бурения как показатель, определяющий производительность процесса, а также, в ряде случаев, рейсовая скорость бурения как дополнительный критерий. Приведена структурная схема процесса бурения скважины и обобщённая схема предложенного алгоритма выбора рациональной скважинной компоновки.

Ключевые слова: геологоразведочные работы на шельфе, инженерно-геологические изыскания на шельфе, бурение геологоразведочных скважин, гидроударный буровой снаряд, забивной пробоотборник, отбор проб грунтов, скважинные компоновки.

Одной из основных задач геологоразведочной отрасли Украины является постоянное наращивание разведанных запасов минерально-сырьевых ресурсов, крайне необходимых для интенсивного развития промышленности страны. Развитие минерально-сырьевой базы и топливно-энергетического комплекса Украины предусматривает ускоренный темп вовлечения месторождений полезных ископаемых морского шельфа Черного и Азовского морей в сферу хозяйственной деятельности.

Реализация этих планов требует выполнения больших объемов геологоразведочного бурения, связанного как с непосредственной разведкой месторождений твёрдых полезных ископаемых, так и с проведением инженерно-геологических изысканий, прежде всего, на трассах трубопроводов и площадках постановки морских буровых платформ для разведки и добычи нефти и газа. При этом основной объём работ приходится на породы I–IV категорий по буримости. В связи с этим возникла весьма сложная проблема геологического изучения морского дна, для решения которой требуются достаточно большие объёмы работ, связанных с бурением геологоразведочных скважин глубиной до 100-150 м.

Большой объём исследований, проведенных в Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ), показал, что повышение производительности бурения геологоразведочных скважин на шельфе достигается за счёт использования гидроударных буровых снарядов (ГБС) [1]. Они очень хорошо зарекомендовали себя при бурении скважин глубиной до 50 м в составе установок типа УМБ-130. Поэтому на основе этих ГБС была разработана технология поинтервального бурения в породах песчано-глинистого комплекса и проведена оценка её эффективности [2–7].

Несмотря на успешную апробацию этой технологии в производственных условиях, полученные результаты показали, что при бурении в плотных породах и с увеличением глубины скважины механическая скорость существенно снижается даже при использовании рациональной компоновки низа бурильной колонны [6, 7].

Для повышения механической скорости бурения геологоразведочных скважин глубиной 100-150 м и было предложено использование усовершенствованных гидроударных буровых сна-

рядов с колонковым набором, подвижным относительно корпуса гидроударника [8]. В комплекте с этими ГБС достаточно эффективно могут использоваться забивные пробоотборники с гидравлическим приводом (ЗП), которые модернизированы за счет включения в их состав пусковых узлов, позволяющих осуществлять размыв скважины и очистку забоя от обрушившихся пород [9, 10].

Подобные устройства имеют более рациональную ударную систему по сравнению с ранее использовавшимися снарядами, кроме того они обеспечивают постоянный контакт колонкового набора с забоем при отборе пробы, что существенно повышает её качество.

Следует отметить, что такие конструктивные схемы не могут применяться в автономных установках [1], в которых имеется только лишь гибкая связь с судном, и нет возможности создавать дополнительную осевую нагрузку на буровой снаряд. Однако в компоновке с бурильной колонной такие конструкции становятся работоспособными, поскольку бурильные трубы воспринимают реактивные усилия, возникающие при работе гидроударника или гидродвигателя пробоотборника, и обеспечивают контакт корпуса ударного узла с колонковым набором, что необходимо для надёжной работы гидроударника.

Количество и состав скважинных компоновок определяется множеством элементов компоновки и их возможных сочетаний. Анализ процесса бурения с применением гидроударных буровых снарядов и забивных пробоотборников позволил выделить следующие составные элементы скважинных компоновок, представленные на рис. 1.

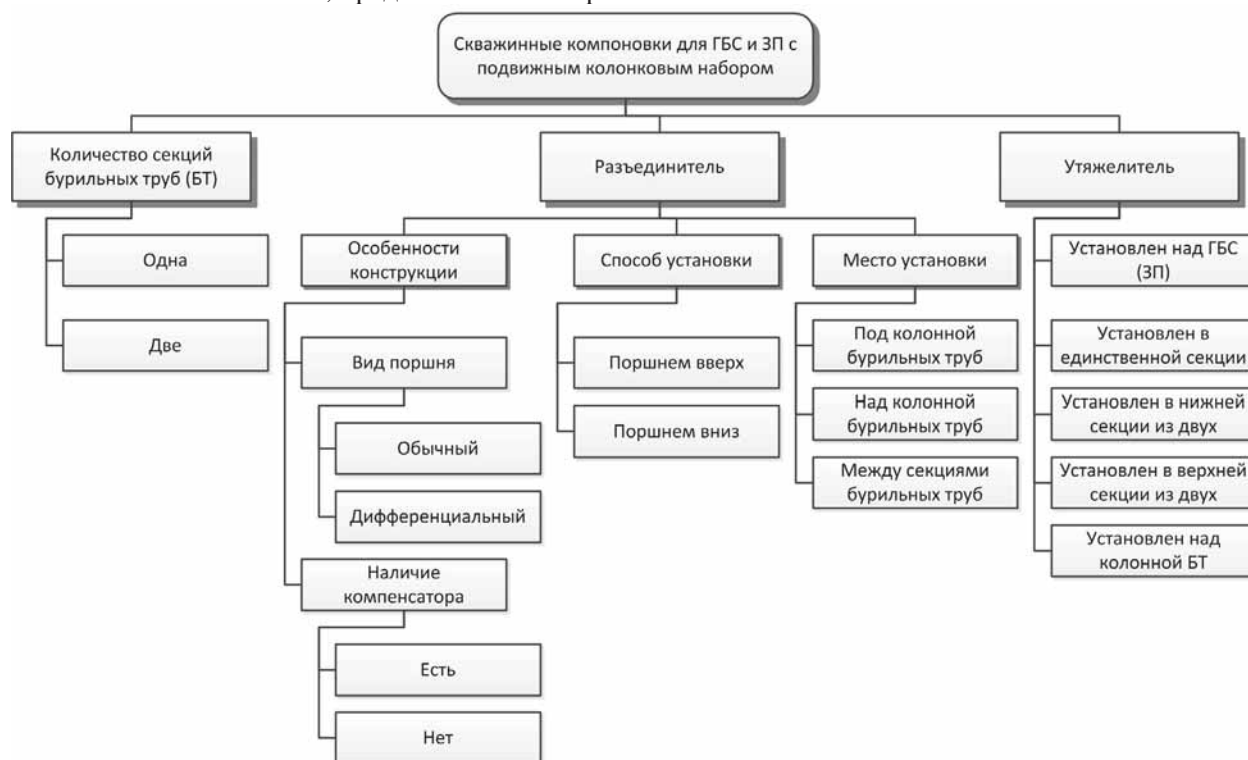


Рис. 1. Классификация элементов скважинных компоновок при использовании гидроударных буровых снарядов (забивных пробоотборников) с подвижным колонковым набором.

В зависимости от схемы работы бурильная колонна может быть одно или двухсекционной, в последнем случае между секциями устанавливается разъединитель, обеспечивающий возможность относительного перемещения секций. При этом разъединитель обеспечивает дополнительное осевое усилие на установленный ниже его элемент компоновки, которое создается за счет давления жидкости в бурильных трубах.

Разъединитель также может устанавливаться над и под колонной бурильных труб, однако при односекционной бурильной колонне разъединитель может и не использоваться. Максимальное количество одновременно используемых разъединителей не может быть более трёх. Разъединители могут различаться как по виду поршня (обычного или дифференциального), используемого в нем, так и по наличию в его составе дополнительного компенсатора давления жидкости, который позволяет сглаживать пульсации давления при резком перемещении элементов разъединителя

при работе ГБС или забивного пробоотборника. Следует отметить, что меньшие пульсации давления будут возникать при использовании в разъединителе дифференциального поршня, но при этом дополнительное осевое усилие на установленный ниже его элемент компоновки также будет меньше. Кроме того, разъединитель может устанавливаться в разных положениях (поршнем вверх или вниз), что при использовании нескольких разъединителей может обуславливать различные усилия, действующие на элементы компоновки.

В состав скважинной компоновки также может включаться утяжелитель, использующийся для увеличения веса колонны или её секций, компенсации реактивных усилий, возникающих при работе ГБС или забивного пробоотборника, а также для повышения энергии дополнительных ударов по колонковому набору при перемещении корпуса устройства или секций бурильной колонны. В компоновке может использоваться один или несколько утяжелителей, которые могут устанавливаться как непосредственно над ГБС (забивным пробоотборником), так и в каждой секции, а также над колонной, соединяясь с ней разъединителем.

Примеры ряда наиболее просто реализуемых скважинных компоновок, которые могут использоваться в практике буровых работ, приведены на рис. 2. При этом в компоновках, показанных на рис. 2 д-ж, также может использоваться разъединитель с обычным поршнем вместо дифференциального. Следует отметить, что во всех этих компоновках часть генератора ударных нагрузок, соединённая с бурильной колонной или утяжелителем, выполняет функцию так называемого динамического утяжелителя, наносящего дополнительные удары по колонковому набору.

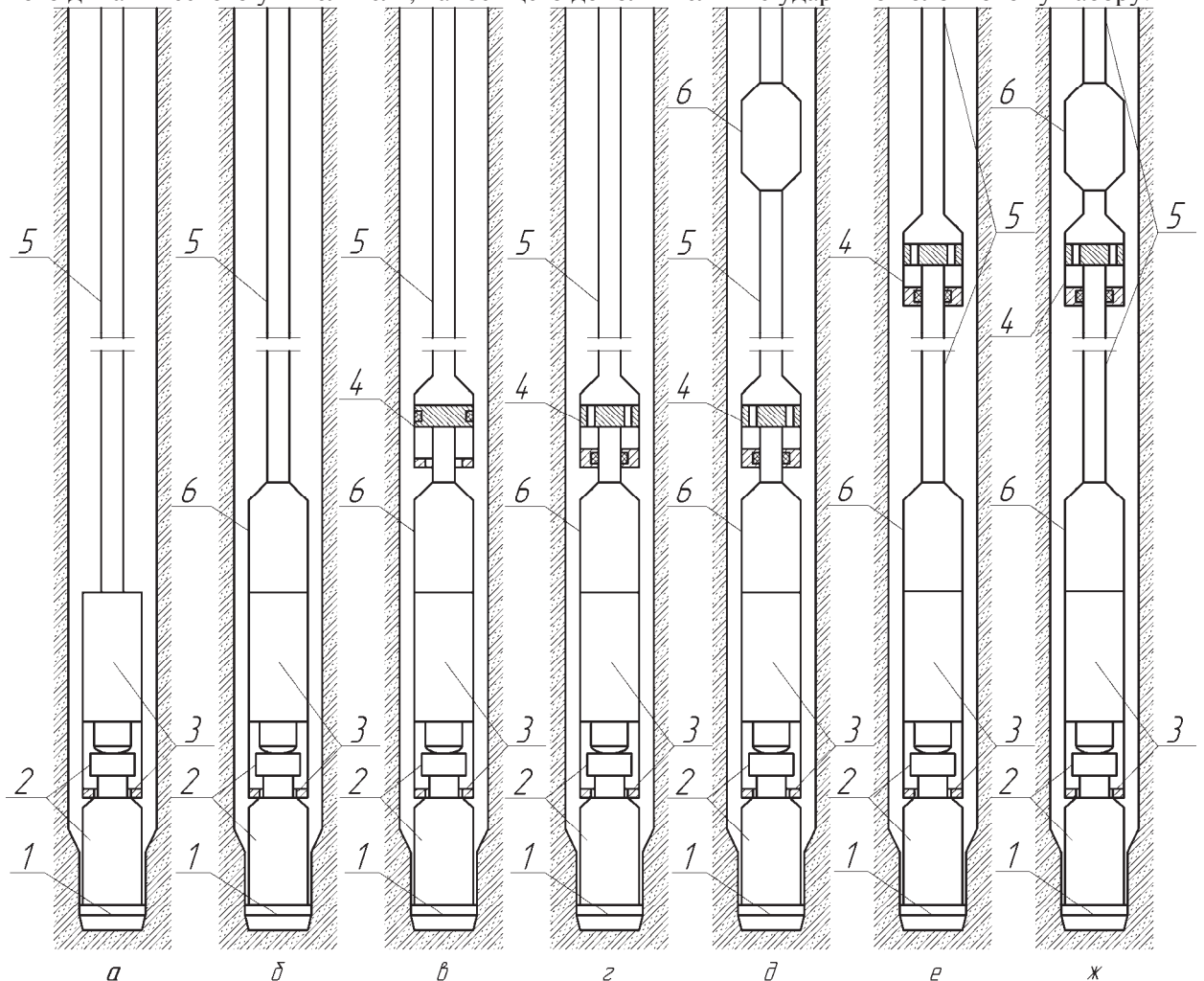


Рис. 2. Схемы ряда возможных компоновок бурильной колонны при использовании гидроударных буровых снарядов (забивных пробоотборников) с подвижным колонковым набором: 1 – башмак, 2 – колонковый набор, 3 – гидродвигатель (гидродвигатель с ударным узлом), 4 – разъединитель, 5 – бурильные трубы, 6 – утяжелитель.

В двух первых компоновках (рис. 2а, б) гидроударный буровой снаряд жёстко связан с колонной буровых труб (в схеме 2б между ГБС и колонной установлен утяжелитель).

В трёх следующих компоновках (рис. 2в, г, д) ГБС с утяжелителем отделён от буровой колонны разъединителем. Отличие между схемами заключается в конструкции разъединителя, которая определяет значение дополнительной статической нагрузки, действующей на снаряд за счёт давления промывочной жидкости в буровых трубах, а также в наличии дополнительного утяжелителя, установленного в буровых трубах.

В следующих двух компоновках (рис. 2е, ж) со снарядом соединена часть колонны (нижняя секция) буровых труб, а верхняя секция отделена от неё разъединителем, который устанавливается в буровой колонне на определённой глубине. При этом в верхнюю секцию также может включаться утяжелитель.

Указанные схемы не исчерпывают всего многообразия возможных скважинных компоновок. Поэтому выбор рациональной компоновки для конкретных условий эксплуатации является достаточно сложной задачей.

При решении этой задачи предлагается в качестве основного критерия выбора рациональной скважинной компоновки использовать определяющую производительность процесса величину – механическую скорость бурения.

Механическая скорость бурения рекомендуют использовать в качестве критерия оптимизации в случаях, когда углубка в рейсе не лимитируется, а стоимость породоразрушающего инструмента незначительна [11]. Это, в принципе, применимо к большинству случаев бурения геологоразведочных скважин на шельфе, когда рейсовая проходка является постоянной величиной и определяется, например, требованиями заказчика или нормативных документов. Стоимость породоразрушающего инструмента (башмака) ГБС или забивного пробоотборника невелика, при этом его ресурс позволяет использовать один и тот же башмак при бурении нескольких скважин. При прочих равных условиях именно механическая скорость определяет стоимость и производительность бурения (в том числе и рейсовую скорость), а в общем случае – параметры экономических критериев, а также входит в ряд составных критериев оптимизации [11]. В то же время, учитывая многообразие условий эксплуатации, в ряде случаев оптимизация может быть дополнена этапом с использованием в качестве дополнительного критерия рейсовой скорости [11, 12], в котором учтен такой параметр, как длина рейса (рейсовая проходка). Оптимизацию по стоимости 1 м проходки скважины, рекомендуемую рядом исследователей [12], проводить нецелесообразно, поскольку при малой стоимости башмака этот критерий эквивалентен рейсовой скорости.

При решении задачи выбора рациональной скважинной компоновки предлагается использовать уточнённую структурную схему процесса бурения скважины (рис. 3), основанную на схеме, предложенной ранее для однорейсового бурения скважин гидроударными буровыми снарядами [1, 13]. Следует отметить, что ниже приведены результаты анализа процесса бурения с использованием ГБС, но при использовании забивных пробоотборников они принципиально не изменяются.

В приведенной схеме учитывается, что в технических средствах, работающих со скважинными компоновками, не используется насосный блок для создания обратной промывки, поскольку при регламентируемых длинах рейса свайный эффект заведомо не наступает.

Как и в исходной схеме, в системе «ГБС – скважинная компоновка – скважина» учитывается ряд факторов, которые относятся к двум группам: технические и технологические, являющиеся управляемыми режимными параметрами бурения. Но к техническим параметрам отнесена не только конструкция и кинематика ГБС, а также параметры скважинной компоновки, выделенные в отдельную группу, определяющиеся составом компоновки, её кинематикой и динамикой. В состав технологических факторов дополнительно введено давление рабочей жидкости при работе гидроударника, которое может оказывать существенное влияние на динамику ГБС, особенно при использовании разъединителей [6, 7]. Отдельно выделен ряд скважинных факторов, куда, кроме учитываемых ранее физико-механических свойств пород, входят глубины моря и скважины. Расширение этого перечня факторов обусловлено их выявленным влиянием на процесс бурения [2, 9]. Также в схему включена связь между управляемыми режимными параметрами бурения и единственным оперативно регулируемым в процессе бурения управляющим технологическим фактором – расходом жидкости на привод гидроударника.

Все эти факторы определяют динамику гидроударного бурового снаряда в системе «ГБС – скважинная компоновка – скважина» и, в конечном итоге, – выходные параметры процесса бурения, оставшиеся неизменными: механическую скорость, длину рейса, выход керна.

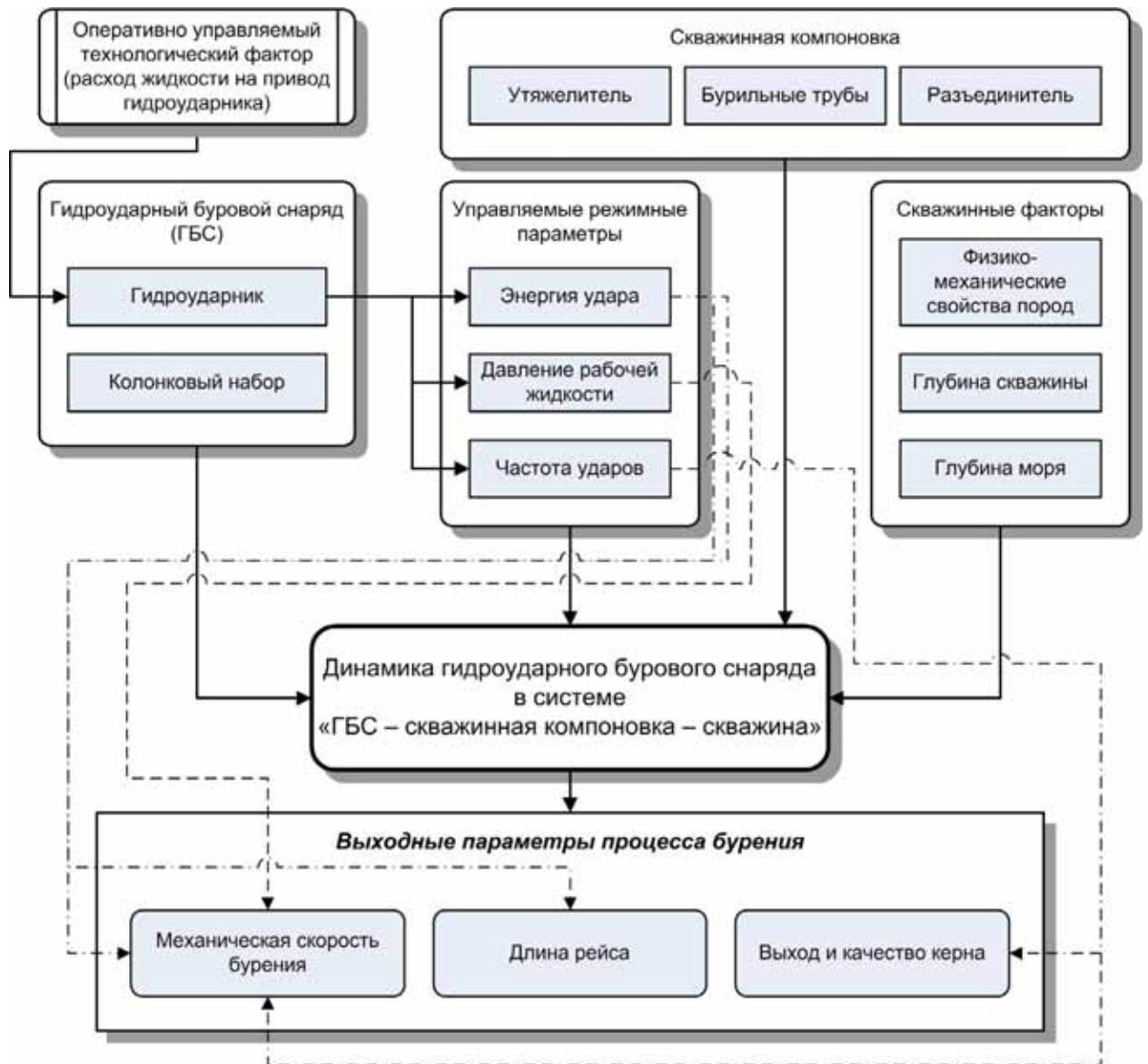


Рис. 3. Уточнённая структурная схема процесса бурения скважины гидроударными буровыми снарядами (завивными пробоотборниками) с подвижным колонковым набором.

При этом в схеме учтены связи между режимными и выходными параметрами процесса бурения. Из схемы видно, что управление процессом бурения с точки зрения регулирования механической скорости, является наиболее сложным, поскольку она зависит не только от совокупности всех технических и скважинных факторов, но и от всех управляемых режимных параметров (технологических факторов), величина которых, в сущности определяется динамикой гидроударника, входящего в состав ГБС.

В этом случае, поиск и реализация рациональной скважинной компоновки должны проводиться на основе анализа динамики гидроударного бурового снаряда в системе «ГБС – скважинная компоновка – скважина» с целью достижения максимума механической скорости бурения.

С практической точки зрения эту проблему целесообразно решать поэтапно.

Сначала для решения задачи с учётом эксплуатационных ограничений выбираются возможные схемы компоновок и конструкция гидроударного бурового снаряда, а затем производится выбор параметров компоновки, ГБС, в том числе и гидроударника, при которых обеспечивается максимальная производительность, что, в большинстве случаев, соответствует условию достижения максимума механической скорости бурения.

При этом остальные выходные параметры (длина рейса, выход керна) могут использоваться в качестве дополнительных ограничений при решении оптимизационной задачи наравне с па-

раметрами бурового насоса, обеспечивающего подачу жидкости в систему и работу гидроударника. Если рассматриваемые конструктивные схемы обеспечивают различную рейсовую углубку и (или) различное время на выполнение операций, кратных рейсу, то затем может производиться оценка их эффективности по дополнительному критерию – рейсовой скорости бурения.

Обобщённая схема алгоритма выбора рациональной скважинной компоновки при бурении скважин на шельфе гидроударными буровыми снарядами представлена на рис. 4.

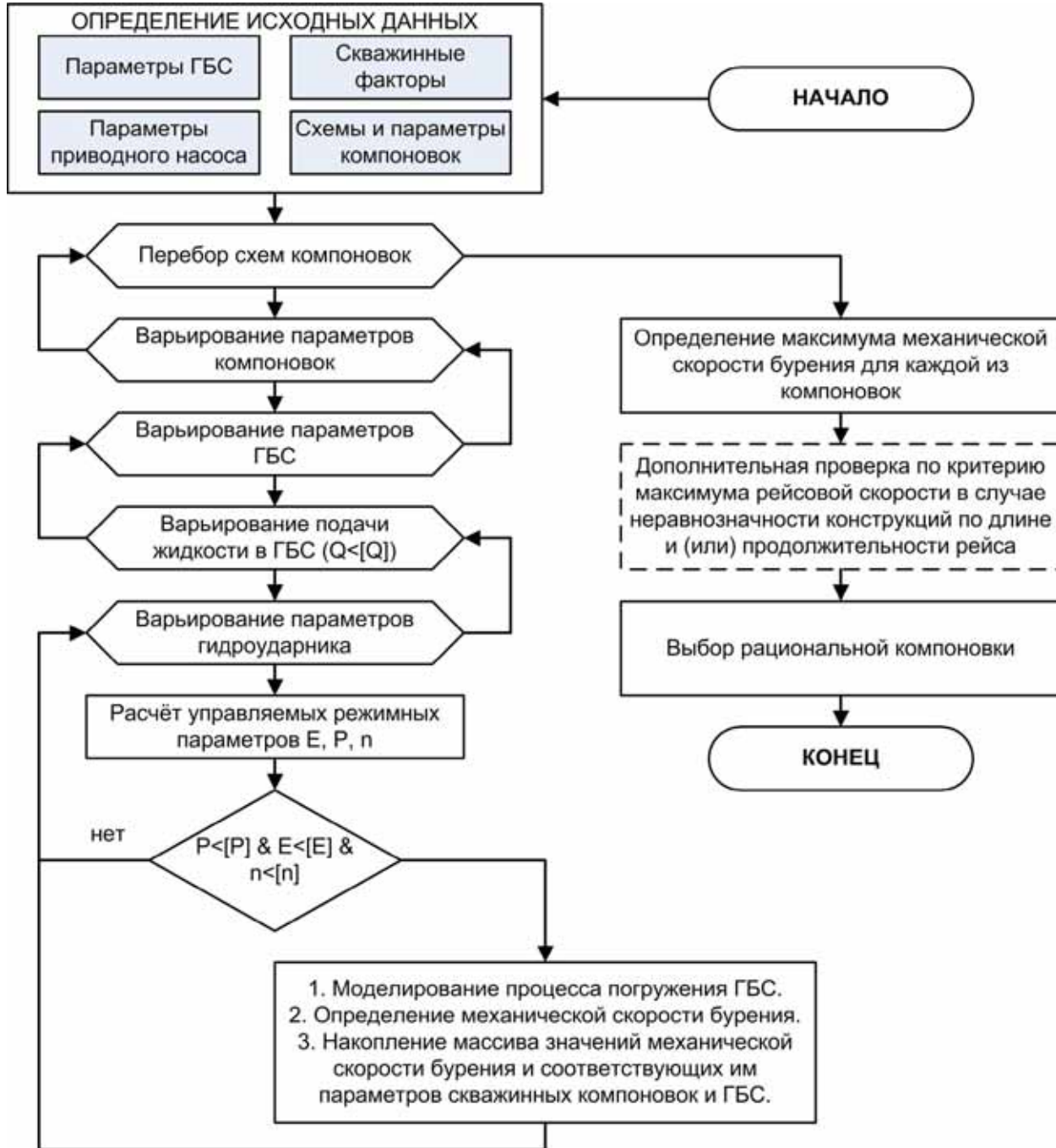


Рис. 4. Обобщённая схема алгоритма выбора рациональной компоновки при бурении геологоразведочных скважин на шельфе гидроударными буровыми снарядами с подвижным колонковым набором.

Сначала определяется массив исходных данных, включающий детальное определение параметров ГБС, скважинных факторов, параметров приводного насоса, а также схем и параметров скважинных компоновок.

Затем начинается цикл по перебору схем скважинных компоновок, внутри которого выполняются четыре вложенных цикла:

1. Варьирование значений параметров скважинных компоновок.
2. Варьирование значений конструктивных параметров бурового снаряда за исключением гидроударника.
3. Варьирование значений расхода жидкости Q на привод гидроударника в пределах, определяемых характеристикой гидроударника (или до максимально допустимого $[Q]$, определяемого характеристикой насоса).
4. Варьирование конструктивных параметров гидроударника.

В последнем цикле производится расчёт управляемых режимных параметров бурения: давления рабочей жидкости (P), энергии ударов (E) и частоты ударов (n). Каждое из этих значений сравнивается с максимально допустимой величиной, соответственно $[P]$, $[E]$ и $[n]$. При этом максимум давления определяется характеристикой насоса, а максимум энергии ударов – прочностью элементов конструкции. В то же время максимум частоты ударов определяется условиями сохранности керна или дополнительно налагаемыми ограничениями.

Если хотя бы в одном из трёх сравнений неравенство не выполняется, то данное сочетание факторов нельзя применять на практике, и оно не используется для определения механической скорости бурения.

В случае выполнения всех ограничений производится моделирование процесса погружения гидроударного бурового снаряда в породу с использованием программного обеспечения, специально разработанного для этой цели. Пример результатов моделирования для различных режимов работы гидроударника показан на рис. 5.

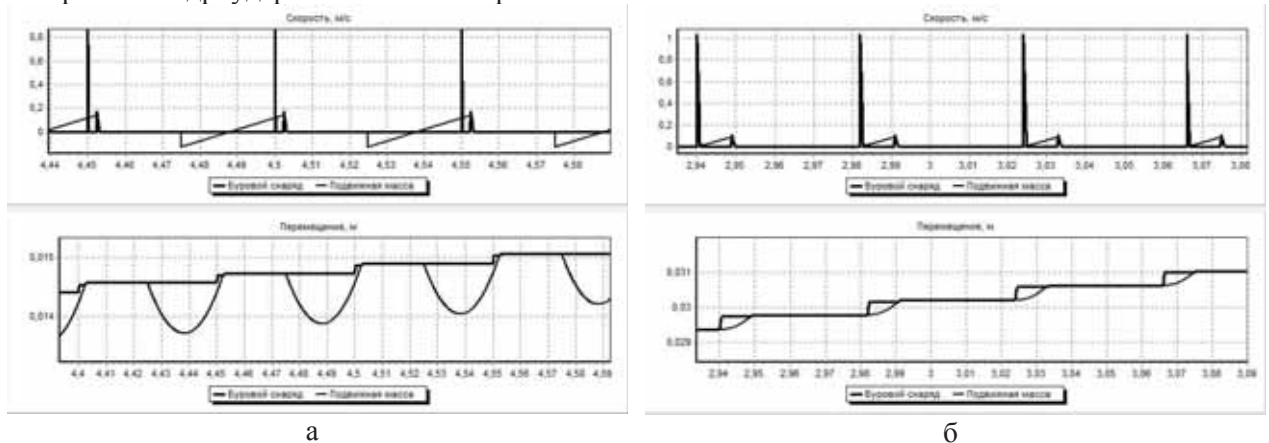


Рис. 5. Пример моделирования погружения гидроударного бурового снаряда в горную породу: а – при двухударном режиме работы гидроударника; б – при одноударном режиме работы гидроударника.

В результате моделирования определяется механическая скорость бурения, и её значение, а также соответствующие ему значения всех факторов, заносятся в массив расчётных данных.

После выполнения всех циклов массив расчётных данных анализируется с целью определения максимума механической скорости бурения для каждой из схем скважинных компоновок. В случае если конструктивные схемы ГЭС разнятся по длине и (или) затратам времени на операции, кратные рейсу, т.е. по продолжительности рейса, необходимо также провести оценку конструктивных схем по дополнительному критерию оптимизации – рейсовой скорости (в противном случае этот этап пропускается).

В заключение, на основании проведенной оценки, выбирается рациональная схема скважинной компоновки, для которой определены значения конструктивных параметров и технологических факторов, а также величина механической скорости бурения.

Следует отметить, что при использовании забивных пробоотборников энергия ударов не зависит от параметров приводного гидравлического двигателя, поэтому в этом случае она может быть отнесена к массиву исходных данных. Поэтому сравнение вариантов по энергии удара из алгоритма исключается. В остальном схема алгоритма выбора рациональной компоновки при бурении геологоразведочных скважин на шельфе забивными пробоотборниками с подвижным колон-

ковым набором практически не отличается от приведенной выше схемы.

Таким образом, для выбора рациональной скважинной компоновки при бурении геологоразведочных скважин на шельфе гидроударными буровыми снарядами и забивными пробоотборниками с подвижным колонковым набором также необходимо использовать в качестве критерия оптимизации максимум механической скорости бурения. Этот критерий позволяет оценить комплексное влияние параметров скважинной компоновки и гидроударного бурового снаряда (забивного пробоотборника), а также особенностей взаимодействия элементов системы «ГБС (забивной пробоотборник) – скважинная компоновка – скважина» на эффективность процесса бурения. Кроме того, в качестве дополнительного критерия оптимизации для условий эксплуатации гидроударного бурового снаряда (забивного пробоотборника) может быть принята величина рейсовой скорости.

На основании приведенного выше алгоритма было разработано программное обеспечение для выбора рациональной скважинной компоновки при бурении геологоразведочных скважин на шельфе. Разработанный алгоритм и уточнённая структурная схема процесса бурения скважины с использованием ГБС (забивных пробоотборников) апробированы при проектировании компоновок для бурения скважин со специализированных плавоснований типа СПБУ «Сиваш» и судов типа «Диорит».

Библиографический список

1. Калиниченко О. И. Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе / О. И. Калиниченко, П. В. Зыбинский, А. А. Каракозов. – Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 270 с.
2. Разработка погружных гидроударных снарядов для бурения подводных разведочных скважин со специализированных плавсредств / О.И. Калиниченко, Каракозов, П.В. Зыбинский, С.Н. Парфенюк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сборник научных трудов. – 2005. – Вып. 8. – С. 92-95.
3. Колонковый снаряд. Патент на корисну модель № 13609 UA МПК(2006) E21B 21/00, 25/00, 25/18 / Каракозов А.А., Калініченко О.І., Зибінський П.В., Опубл. 17.04.2006, Бюл. №4.
4. Колонковый снаряд: патент на винахід № 81016 UA МПК(2006) E21B 21/00, E21B 25/00 / Каракозов А.А., Калініченко О.І., Зибінський П.В.. - Опубл. 26.11.2007, Бюл. №19.
5. Колонковый снаряд: патент на корисну модель № 31821 UA МПК(2006) E21B 21/00, E21B 25/00 / Калініченко О.І., Каракозов А.А., Зибінський П.В. - Опубл. 25.04.2008, Бюл. №8.
6. Совершенствование технических средств и технологий отбора проб грунта при бурении геотехнических скважин с плавучих самоподъемных установок на шельфе Черного моря / [А.А. Каракозов, О.И. Калиниченко, П.В. Зыбинский и др.] // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сборник научных трудов. – 2008. – Вып. 11. – С. 66–74.
7. Каракозов А. А. Оценка влияния компоновки низа буровой колонны на механическую скорость бурения скважин гидроударными снарядами при отборе проб донных отложений / А. А. Каракозов // Наукові праці ДонНТУ, Серія «Гірничо-геологічна». – 2008. – Випуск 7(135). – С. 130–135.
8. Колонковый снаряд. Патент на корисну модель № 81274 UA МПК(2013.01) E21B 21/00 25/00 / Каракозов А. А., Рязанов А.М., Парфенюк С.М., Титенок Н.І, Опубл. 25.06.2013, Бюл. №12.
9. Каракозов А. А. Об использовании забивных пробоотборников с гидравлическим приводом при реализации технологии поинтервального бурения геотехнических скважин с буровых судов и самоподъемных буровых установок / А. А. Каракозов // Наукові праці ДонНТУ, Серія «Гірничо-геологічна». – 2012. – Вип. 2(17). – С. 173–178.
10. Пробовідбірник: патент на корисну модель № 76613 UA МПК(2013) E21B 25/18 / Каракозов А.А., Рязанов А.М., Зибінський П.В., Парфенюк С.М. – Опубл. 10.01.2013, Бюл. №1.
11. Башкатов, Д. Н. Оптимизация процессов разведочного бурения / Д. Н. Башкатов, А. М. Коломиец. – М.: РАЕН, ИГЦ ГП «Волгагеология», 1997. – 259 с.
12. Бражников, В. А. Информационное обеспечение оптимальным управлением бурения скважин / В. А. Бражников, А. А. Фурнэ. – М.: Недра, 1989. – 206 с.
13. Калиниченко, О. И. Развитие научных основ создания погружных гидроударных снарядов и установок для однорейсового бурения скважин на морском шельфе: Дисс. ... докт. техн. наук / Калиниченко Олег Иванович. – Донецк, ДонНТУ, 2002. – 371 с.

Надійшла до редакції 17.10.13

А. А. Каракозов

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

Вибір раціональної свердловинної компоновки при бурінні свердловин на шельфі гідроударними буровими снарядами і забивними пробовідбірниками з рухомим колонковим набором

У статті розглянуті питання використання гідроударних бурових снарядів і забивних пробовідбірників з гідравлічним приводом при проходці геологорозвідувальних свердловин на шельфі в породах піщано-глинистого комплексу. Модернізовані конструкції цих пристроїв мають рухливий відносно корпусу гідродвигуна колонковий набір, а, отже, більш раціональну ударну систему і постійний контакт колонкового набору з вибоєм. Визначено можливі схеми компоновок цих пристроїв з бурильної колоною при експлуатації зі спеціалізованих плавучих засобів. В якості критерію вибору раціональних компоновок для конкретних умов експлуатації використовується механічна швидкість буріння як показник, який визначає продуктивність процесу, а також, в ряді випадків, рейсова швидкість буріння як додатковий критерій. Наведено структурну схему процесу буріння свердловини і узагальнена схема алгоритму вибору раціональної свердловинної компоновки.

Ключові слова: геологорозвідувальні роботи на шельфі, інженерно-геологічні вишукування на шельфі, буріння геологорозвідувальних свердловин, гідроударний буровий снаряд, забивний пробовідбірник, відбір проб ґрунтів, свердловинні компоновки.

Karakozov A. A.

Donetsk national technical university, Donetsk, Ukraine

Choice of rational down-the-hole tool layout during drilling offshore with water hammer drill and hammer-samplers with movable coring tube

The article discusses the use of hydraulic hammers and hydraulic hammer-samplers when drilling exploration wells offshore in sandy clay soils. Upgraded design of these devices have movable coring tube relative to the hydraulic hammer body and, consequently, more rationally impact system and constant contact of the coring tube with borehole bottom. The possible layouts of these devices with a drill string during operation with the specialized floating bases. The main criterion of rational choice of components for specific operating conditions is the mechanical drilling speed as an indicator for defining the performance of the process, as well as, in some cases, regular drilling speed as an additional criterion. The block diagram of the process of drilling a well and a generalized scheme of the proposed algorithm for rational choice of tool layout.

Keywords: exploration offshore, geotechnical investigations offshore, drilling exploration wells, water hammer drill, hammer-sampler, soil sampling, down-the-hole tool layout