

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК ТИПА УГВП ДЛЯ ОДНОРЕЙСОВОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА ШЕЛЬФЕ

А.А. Каракозов, С.Н. Парфенюк, А.Р. Сафронова, Донецкий национальный технический университет, Украина

Приведены результаты определения области устойчивости различных модификаций стабилизирующей опоры погружных гидроударных установок типа УГВП, используемых на шельфе при однорейсовом бурении геологоразведочных скважин глубиной до 6-10 м. Полученные данные определяют область возможной эксплуатации установок (скорость течения и угол наклона морского дна) в зависимости от конструктивных параметров стабилизирующей опоры. Показано возможное расширение области устойчивости опоры за счёт компоновки бурового снаряда с динамическим утяжелителем.

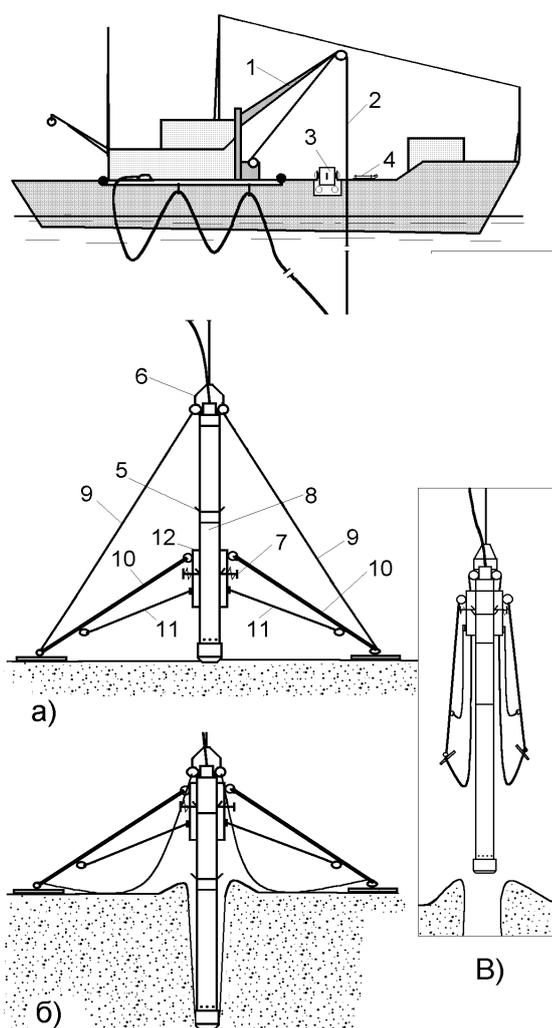


Рис. 1. Схема работы стабилизирующей опоры установки типа УГВП: а – при постановке на дно; б – при бурении; в – при подъёме установки; 1 – грузовая стрела; 2 – трос; 3 – кантователь; 4 – кронштейн; 5 – кольцо; 6 – грузовой переходник; 7 – фиксаторы; 8 – гидроударный буровой снаряд; 9 – растяжки (тросовые); 10 – лапы; 11 – растяжки (цепные); 12 – цилиндр.

В морских геологоразведочных организациях стран СНГ достаточно широко применяются установки типа УГВП (УГВП-130/8, УГВП-130/10, УГВП-150, УГВП-150М), способные выполнять на шельфе однорейсовое бурение скважин в породах I-IV категорий по буримости глубиной 6–10 м с борта неспециализированных малотоннажных судов [1]. В состав этих установок входит стабилизирующая опора, изменяющая свои габариты в рабочем и транспортном положении (рис. 1).

Опора соединена с гидроударным буровым снарядом 8 тросовыми растяжками 9 и состоит из цилиндра 12 с шарнирно закрепленными на нем лапами 10. Раскрытие лап ограничивается длиной цепных растяжек 11. Цилиндр опоры оснащен подпружиненными фиксаторами 7.

В рабочее положение опора переводится за бортом судна при спуске установки на дно моря (рис. 1, а). При бурении фиксаторы 7 скользят по поверхности гидроударного бурового снаряда 8. При встрече с кольцом 5, имеющим обратную по отношению к ним конусность, фиксаторы 7 отжимаются и обеспечивают беспрепятственное прохождение снаряда 8. Затем они занимают исходное положение (рис. 1, б). По окончании рейса снаряд 8 вместе с опорой (за счет её удержания фиксаторами 7 на конусном кольце 5) извлекается из скважины и поднимается к борту судна. При подъёме установки лапы 10 складываются (рис. 1, в), что позволяет в дальнейшем закрепить опору за бортом судна на кронштейне 4.

Стабилизирующая опора должна обеспечивать устойчивость буровой установки в различных условиях эксплуатации при различных скоростях течения и углах наклона морского дна.

Для определения границ области эксплуатации с точки зрения стабилизации установки на морском дне необходимо решить задачу об устойчивости

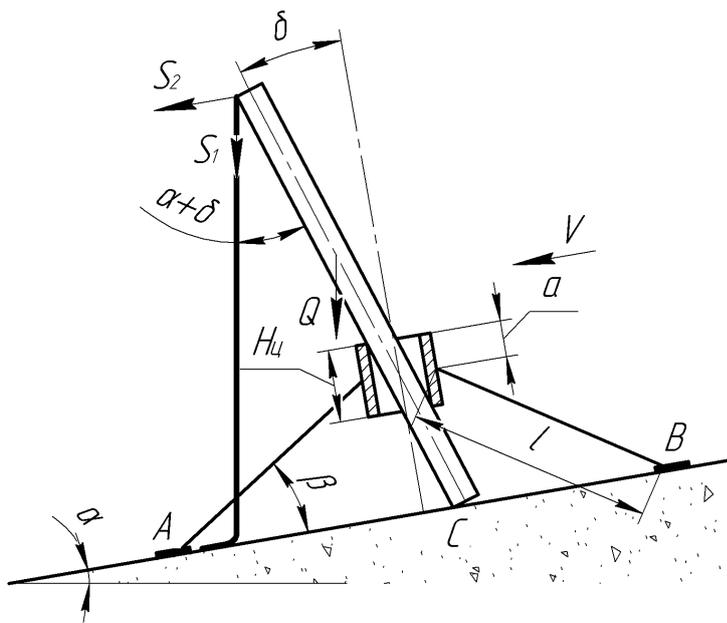


Рис. 2. Расчётная схема системы «гидродинамический буровой снаряд – опора».

силы, которые действуют на участок шланга от места закрепления его на гидродинамическом буровом снаряде до морского дна. В расчётной схеме учитывалась возможность перекоса снаряда в цилиндре опоры. Горизонтальная ось направлена вдоль плоскости дна, а вертикальная – перпендикулярна ей.

Рассматривались опоры с числом лап от 3 до 6. Задача решалась для наиболее неблагоприятного случая работы, когда течение и наклон дна направлены в одну сторону, а плечо опрокидывания имело минимально возможные значения.

Также оценивалась устойчивость опоры при максимальном плече опрокидывания для определения возможной области эксплуатации установок (максимальных скоростей течения и углов наклона дна) при принудительной ориентации опоры относительно течения.

При решении задачи рассматривалось критическое равновесие опоры, т.е. случай, когда реакция в точке B равна нулю. Тогда на опору действуют следующие силы (рис. 3):

- горизонтальная составляющая веса P_T :

$$P_T = k(nq_2l + M_{ц}g) \sin \alpha,$$

где n – число лап; q_2 – вес 1 м лап; l – длина лап; $M_{ц}$ – масса цилиндра; g – ускорение свободного падения; α – угол наклона дна; k –

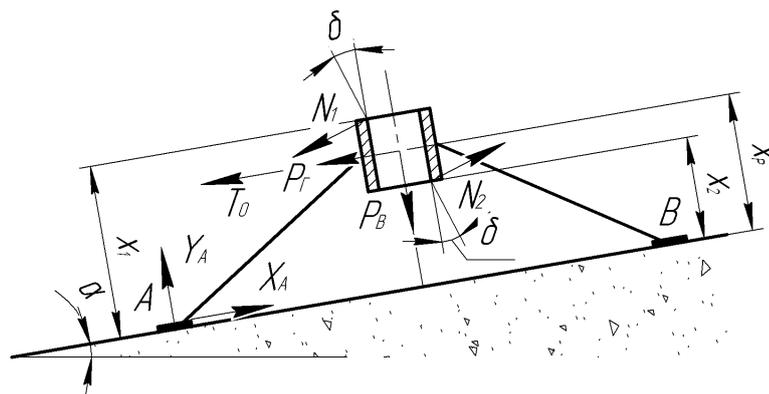


Рис. 3. Схема действия сил на стабилизирующую опору.

коэффициент, учитывающий потери веса установки в воде

$$k = 1 - \rho / \rho_M,$$

где ρ , ρ_M – плотность воды и материала опоры;

системы «гидродинамический буровой снаряд – опора».

Для этого была рассмотрена расчётная схема (рис. 2), учитывающая влияние на равновесие установки веса гидродинамического бурового снаряда и опоры, угла наклона дна, а так же сил, обусловленных действием течения на элементы установки, которые при этом рассматриваются как два отдельных тела, взаимодействующих друг с другом и имеющие возможность относительного перемещения. Поскольку при эксплуатации установок типа УГВП нагнетательный шланг сбрасывается за борт и частично ложится на дно моря, то при учете его воздействия на устойчивость опоры принимались во внимание только те

- вертикальная составляющая веса P_B :

$$P_B = k(nq_2l + M_{ц}g) \cos \alpha ;$$

- сила действия течения на опору T_0 :

$$T_0 = 0,5F_0 \rho V^2 ,$$

где V – скорость течения; F_0 – площадь парусности опоры;

- силы действия гидроударного бурового снаряда на опору N_1, N_2 ;
- реакции в точке А (горизонтальная составляющая X_A и вертикальная составляющая Y_A).

Вертикальные координаты точек приложения этих сил определяются следующим образом:

- для P_T и P_B :

$$X_P = \frac{0,5q_2l^2n \sin \beta + M_{ц}g(l \sin \beta + a - H_{ц} / 2)}{nq_2l + M_{ц}g} ,$$

где $H_{ц}$ – высота цилиндра опоры;

- для T_0 : $X_{T_0} = X_P$;
- для N_1 : $X_1 = l \sin \beta + a$;
- для N_2 : $X_2 = l \sin \beta + a - H_{ц}$,

где a – координата точки закрепления осей лап на цилиндре опоры (считается от верхнего края); β – угол наклона лап опоры.

Величина площади F_0 для различных опор определяется следующим образом:

- для трёхлапой опоры

$$F_0 = H_{ц}D_{ц} + d(l \sin \beta + a - H_{ц}) + 2dl \cos \gamma ,$$

где d – диаметр лап опоры;

- для четырёхлапой опоры

$$F_0 = H_{ц}D_{ц} + 4dl \cos \gamma ;$$

- для шестилапой опоры

$$F_0 = H_{ц}D_{ц} + 2dl + 4dl \cos \gamma ,$$

где $D_{ц}$ – диаметр цилиндра опоры; γ – угол между проекцией лапы и линией, соединяющей нижние концы двух смежных лап

$$\gamma = \pi(n - 2)/(2n) .$$

Условием критического равновесия является равенство нулю суммы моментов всех вышеприведенных сил относительно точки А ($\Sigma M_A = 0$).

Область значений скоростей течения и углов наклона дна, при которых опора сохраняет устойчивость, определяется условием $\Sigma M_A \geq 0$ (положительное направление моментов сил – по часовой стрелке).

Условия равновесия, соответственно, при минимальном и максимальном плече опрокидывания, имеют следующий вид:

$$P_B l_{\Pi} \sin \gamma + N_1 (l_{\Pi} \sin \gamma - D_{\Pi} / 2 + \Delta_{\Pi}) \sin \delta + N_2 X_2 \cos \delta - (P_{\Gamma} + T_0) X_P - N_1 X_1 \cos \delta - N_2 (l_{\Pi} \sin \gamma + D_{\Pi} / 2 - \Delta_{\Pi}) \sin \delta \geq 0'$$

$$P_B l_{\Pi} + N_1 (l \cos \beta + \Delta_{\Pi}) \sin \delta + N_2 X_2 \cos \delta - (P_{\Gamma} + T_0) X_P - N_1 X_1 \cos \delta - N_2 (l \cos \beta + D_{\Pi} - \Delta_{\Pi}) \sin \delta \geq 0'$$

где Δ_{Π} – толщина стенки цилиндра опоры; l_{Π} – расстояние в горизонтальной плоскости от центра опоры до точки контакта лапы с морским дном,

$$l_{\Pi} = l \cos \beta + D_{\Pi} / 2,$$

где δ – угол перекося снаряда в цилиндре опоры,

$$\delta = \arctg \left(\frac{D_{\Pi} - 2\Delta_{\Pi} - D}{H_{\Pi}} \right),$$

где D – диаметр гидроударного бурового снаряда.

При определении сил N_1 и N_2 буровой снаряд рассматривается в виде балки, возможность перемещения которой ограничивается тремя реакциями: двумя искомыми силами и реакцией морского дна, компенсирующей составляющую веса бурового снаряда, действующую вдоль его оси. Тогда величины сил N_1 и N_2 можно определить на основании уравнения равновесия балки под действием моментов, определяющихся следующими силами:

- составляющая веса бурового снаряда Q_{Γ} , перпендикулярна его оси:

$$Q_{\Gamma} = k(Mg + q_1 H_{KH}) \sin(\alpha + \delta),$$

где M – масса гидроударника; q_1 – вес 1 м колонкового набора; H_{KH} – его длина;

- вес участка шланга S_1 :

$$S_1 = k_1 q_{\text{ш}} H \cos(\delta) / \cos(\alpha),$$

где $q_{\text{ш}}$ – вес 1 метра шланга; H – высота гидроударного бурового снаряда; k_1 – коэффициент, учитывающий потери веса шланга в воде

$$k_1 = 1 - \rho_{\text{ш}} / \rho_M,$$

где $\rho_{\text{ш}}$ – плотность материала шланга;

- сила действия течения на шланг S_2 :

$$S_2 = 0,5 F_2 \rho V^2,$$

где F_2 – парусность шланга

$$F_2 = d_{ш} H \cos \delta,$$

где $d_{ш}$ – диаметр шланга;

- силы действия течения на пробоотборник T_1 и T_2 (выше и ниже цилиндра опоры):

$$T_1 = 0,5 \rho D V^2 (H \cos \delta - l \sin \beta - a); T_2 = 0,5 \rho D V^2 (l \sin \beta + a - H_{ц}).$$

Координаты приложения этих сил вдоль оси снаряда равны:

- считая от нижнего торца снаряда:

$$X_{S_1} = X_{S_2} = H; X_Q = \frac{Mg(H + H_{KH}) + q_1 H_{KH}^2}{2(Mg + q_1 H_{KH})}; X_{T_2} = 0,5(l \sin \beta + a - H_{ц}) / \cos \delta;$$

- считая от верхнего торца снаряда:

$$X_{T_1} = 0,5(H - (l \sin \beta + a) / \cos \delta).$$

Тогда значения сил N_1 и N_2 могут быть определены как

$$N_1 = (Q_{\Gamma}(X_Q - X_2 / \cos \delta) + T_1(X_{T_1} + H_{ц} / \cos \delta) + (S_1 \cos(\alpha + \delta) + S_2 \cos \delta)(H - X_2 / \cos \delta) - T_2 X_{T_2}) / H_{ц},$$

$$N_2 = (Q_{\Gamma}(X_Q - X_1 / \cos \delta) + T_1 X_{T_1} + (S_1 \cos(\alpha + \delta) + S_2 \cos \delta) \times (H - X_1 / \cos \delta) - T_2(X_{T_2} + H_{ц} / \cos \delta)) / H_{ц}.$$

Поиск рациональных параметров стабилизирующей опоры осуществляется на основании предложенной методики расчёта. Поскольку учитывается влияние большого количества величин на устойчивость системы «гидроударный буровой снаряд – опора», то при определении параметров стабилизирующей опоры производится расчет нескольких конструкций, из которых затем выбирается рациональный вариант для конкретных условий эксплуатации.

Исходные данные для расчёта стабилизирующей опоры, предназначенной для эксплуатации установок УГВП-130/8 в условиях Чёрного и Азовского морей, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта параметров опоры

№ п/п	Наименование	Значение
1	Длина снаряда, м	8-12
2	Длина колонкового набора, м	6-10
3	Масса гидроударника, кг	160

4	Вес 1 м колонкового набора, Н/м	270
5	Диаметр снаряда, мм	127
6	Диаметр шланга, мм	58
7	Вес 1 м шланга, Н/м	35,5

На рис. 4 приведены результаты расчётов, характеризующие область устойчивого положения установки на дне моря.

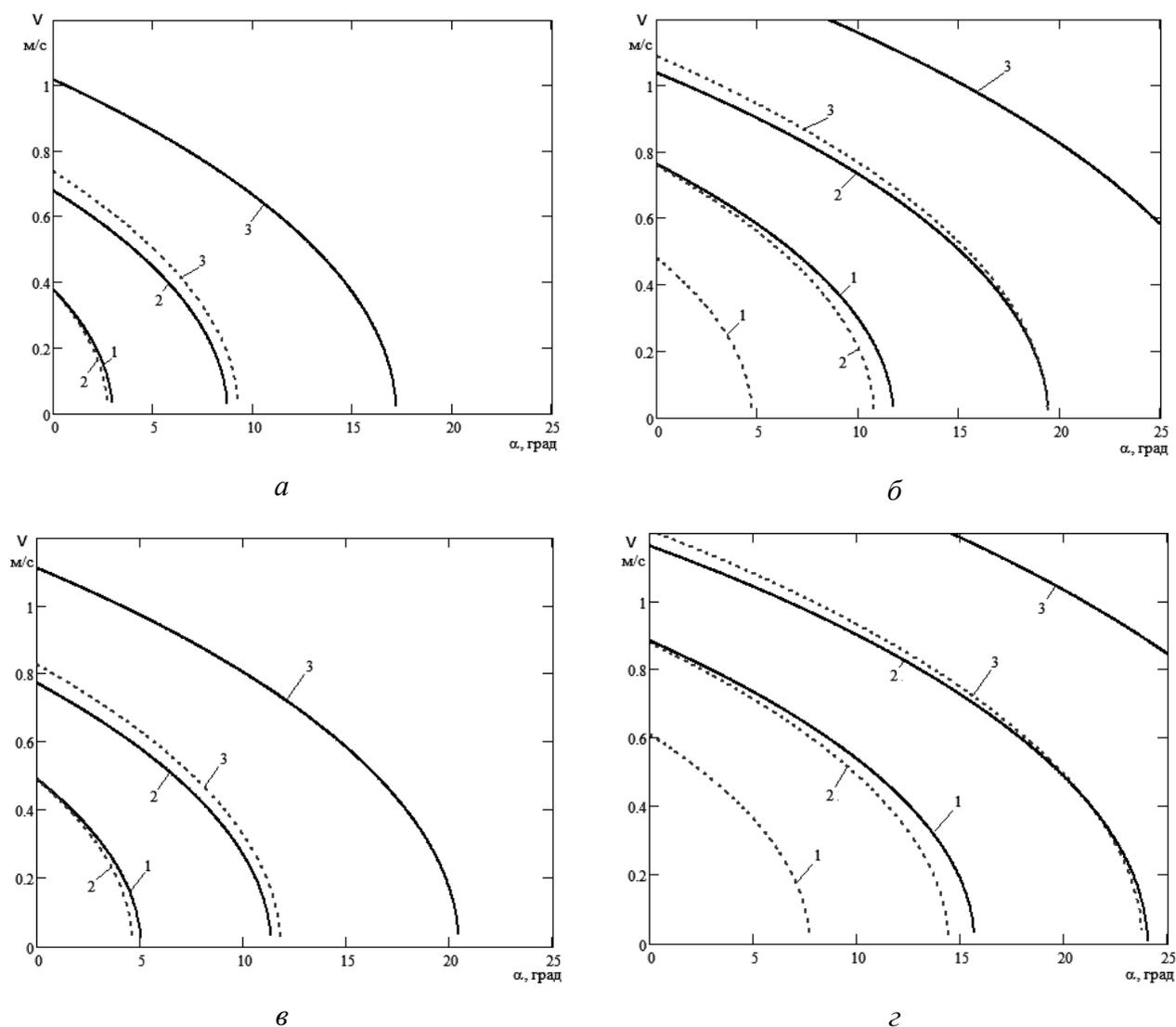


Рис. 4. Границы области устойчивого положения установки на дне моря. Длина / диаметр лап опоры: *а* – 4,5 м / 50 мм; *б* – 6 м / 50 мм; *в* – 4,5 м / 73 мм; *г* – 6 м / 73 мм. Длина колонкового набора: 1 – 10 м; 2 – 8 м; 3 – 6 м. Пунктирная линия соответствует минимальному плечу опрокидывания, сплошная – максимальному плечу.

Область устойчивости определялась для опор с диаметром лап 50 и 73 мм и длиной 4,5 и 6 м. При обосновании рекомендаций для выбора конструктивных параметров опоры необходимо ориентироваться на значения преобладающих скоростей течения в районе предполагаемых работ. Например, в северо-западной части Чёрного моря преобладают течения со скоростями 0,3-0,5 м/с, рельеф дна моря в этом районе достаточно пологий.

Тогда при использовании снаряда длиной 8 м (колонковый набор – 6 м) опора с длиной лап 4,5 м и их диаметром 50 мм обеспечивает устойчивость установки УГВП-130/8 при углах наклона дна от 6-8° до 13-16°, что позволяет выполнять работы. Но при использовании снаряда с длиной колонкового набора 10 м эта опора уже непригодна – необходимо использовать опору с длиной лап 6 м и диаметром 73 мм, при этом желательна принудительная ориентация опоры по течению для обеспечения максимального плеча опрокидывания.

В табл. 2 приведены конструктивные параметры опоры, обеспечивающей стабилизацию гидроударного бурового снаряда длиной 8-12 м на дне при выполнении работ в северо-западной части Чёрного моря.

Таблица 2 – Конструктивные параметры стабилизирующей опоры установки УГВП-130/8

№ п/п	Наименование	Значение	
1	Диаметр цилиндра опоры, наружный/внутренний, мм	290/150	
2	Высота цилиндра опоры, мм	450	
3	Координата закрепления лап, мм	160	
4	Число лап опоры	4	
5	Угол раскрытия лап опоры, град	15	
6	Диаметр лап опоры, мм	50/73	
7	Вес 1м лап опоры, Н/м	59,2/83,2	
8	Длина лап опоры, м	4,5	6
9	Масса опоры, кг	160/200	195/250

При эксплуатации установок УГВП для повышения механической скорости бурения могут использоваться различные технические решения, в том числе и утяжелители: статический и динамический.

Статический утяжелитель представляет собой груз, жёстко соединённый со снарядом для увеличения его веса и ограничения подскока над забоем. Однако использование статического утяжелителя приводит к ухудшению устойчивости установки на дне моря из-за увеличения высоты центра тяжести бурового снаряда относительно дна моря и горизонтальной составляющей веса.

Динамический утяжелитель [2] представляет собой кольцевой груз, установленный подвижно относительно гидроударного бурового снаряда и использующийся для ограничения его подскока над забоем, а также для нанесения дополнительных ударов по забою (рис. 5). Использование динамического утяжелителя является также одним из путей повышения устойчивости стабилизирующей опоры. При отклонении оси гидроударного бурового снаряда от вертикали утяжелитель создаёт дополнительное усилие, действующее на его верхнюю часть и препятствующее опрокидыванию опоры. При этом на мелководной части шельфа, где течение более быстрое, влияние утяжелителя оказывается более значительным, чем при больших глубинах моря.

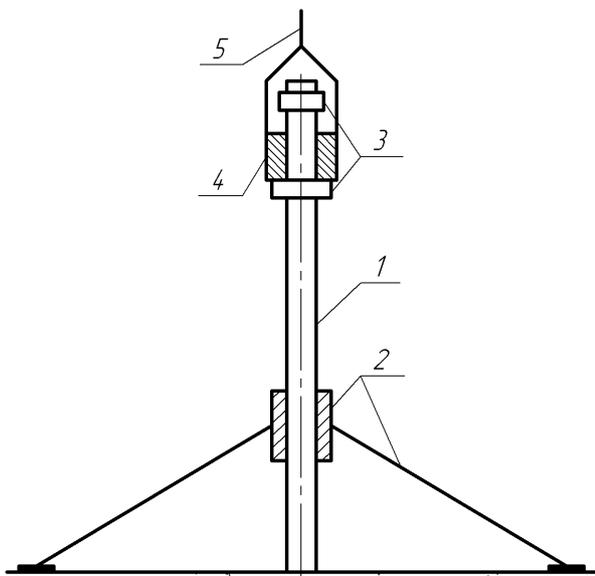


Рис. 5. Схема установки УГВП с динамическим утяжелителем: 1 – гидроударный буровой снаряд; 2 – опора; 3 – наковальни; 4 – динамический утяжелитель; 5 – трос.

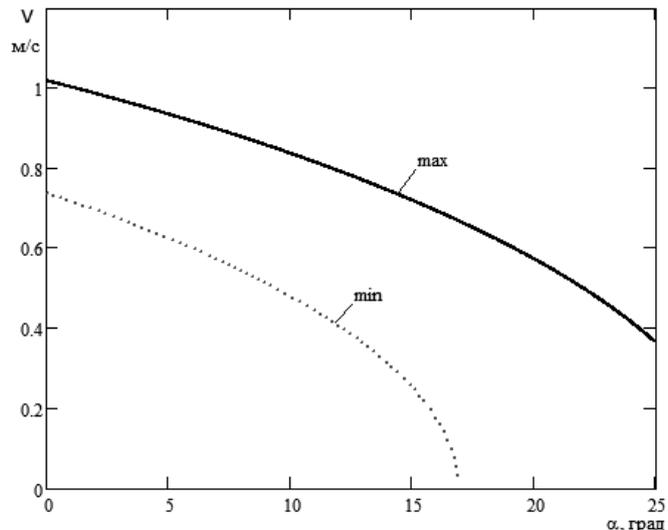


Рис. 6. Границы области устойчивого положения установки УГВП на дне моря при использовании динамического утяжелителя.

Например, использование динамического утяжелителя массой 120 кг с описанной выше опорой с длиной лап 4,5 м и диаметром 50 мм позволяет увеличить нижнюю границу области стабилизации гидроударного бурового снаряда при скоростях течения 0,3-0,5 м/с до 10-15° (рис. 6) вместо 6-8° (рис. 4, а).

Кроме того, такая мера позволяет существенно повысить механическую скорость бурения за счёт ограничения перемещения снаряда вверх и использования энергии удара бойка гидроударника вверх для нанесения дополнительных ударов, воздействующих на забой скважины. Так моделирование процесса взаимодействия бурового снаряда с забоем (с использованием ранее разработанного программного обеспечения [2]) показывает, что при проходке достаточно плотных пород с лобовым сопротивлением 80 кН механическая скорость бурения повышается с 0,44 м/мин до 0,82 м/мин, т.е. в 1,86 раза.

Следовательно, применение динамических утяжелителей способствует как увеличению скорости бурения скважины, так и расширяет область возможной эксплуатации установок типа УГВП при работе в зонах воздействия течений и наклонном рельефе дна.

Список литературы

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. Каракозов, А. А. Сравнительная теоретическая оценка влияния применения утяжелителей и колонковых наборов с подвижными трубами на эффективность процесса бурения донных отложений гидроударными буровыми снарядами / А. А. Каракозов // Наукові праці ДонНТУ, Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк, ДонНТУ, 2006. – Випуск 111. – Т. 2 – С. 113–118.