

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОРСКИЕ БУРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГРИФОНОВ

При проведении бурения в открытом море возможен аварийный выброс газа и нефти из скважины на морском дне, который принято называть грифоном или пузырьковым факелом. Пузырьковый факел, образованный в результате выброса, можно представить в виде конусообразного восходящего газожидкостного потока, постепенно расширяющегося кверху с телесным углом в вершине конуса, приблизительно равным  $10^0$  [4]. Пузырьки газа, всплывая, вовлекают воду в турбулентно восходящий поток. По мере поднятия этого потока к поверхности моря, его направление изменяется от вертикального к горизонтальному, радиально направленному от центра выхода факела на поверхность. В результате, в месте выхода восходящего потока на поверхность воды образуется возвышение в виде холма, высота которого по некоторым данным, основанным на натуральных наблюдениях явления, достигает 7...8 метров. Так как газ смешивается с водой, то средняя плотность газожидкостного потока меньше плотности окружающей воды.

В России, а до этого в СССР, промышленная добыча нефти и газа на шельфе осуществлялась в основном в водах Каспийского моря на небольших глубинах (средняя глубина моря 180 метров; северная часть моря с глубинами до 20 м). Для производства буровых работ и добычи нефти использовались в основном платформы стационарного типа, у которых гидродинамическое воздействие газо-водяного потока при прорыве газа существенно не влияло на общую устойчивость сооружения, а главное внимание уделялось пожарной безопасности и подавлению источника выброса. В начале 80 годов с началом строительства в СССР полупогружных и самоподъемных буровых платформ (ППБУ и СПБУ) возникла необходимость оценки возможного воздействия грифонов на буровые платформы. Тогда же сотрудники «Каспийской военизированной части по предупреждению возникновения и по ликвидации открытых газовых и нефтяных фонтанов» ставили вопрос о необходимости внесения поправок в нормативные документы для регламентирования увода ППБУ типа «Шельф» в случае грифонообразования на расстоянии не менее 100 м от места производства буровых работ при помощи якорных лебедок. Но из-за недостаточной изученности и проработанности проблемы, до сих пор воздействия от возникновения грифонов не учитывается при проектировании и не отражены в СНиП 2.06.04-82\*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).

Анализ реальных случаев попадания плавучих объектов в зону выхода пузырькового факела на поверхность, проведенный Массачусетским технологическим институтом [3], охватывает 11 таких случаев (8 с баржами или судами и 3 с ППБУ), показал, что в случае гибели плавучих объектов ( $1/3$  случаев) затопление могло быть не связано с уменьшением плотности в буруне. Основным фактором скорее являлось повреждение корпуса, вызванное взрывом и затоплением водой открытых полостей в корпусе. К тому же следует подчеркнуть, что гидродинамические силы и вызванные ими перемещения плавучих объектов могут носить нестационарный характер, возникающий ввиду нестабильного положения центральной линии факела. Если колебания буруна совпадают с периодом собственных колебаний установки, возможно явление резонанса.

Эти выводы подтвердили эксперименты, проведенные с физической моделью ППБУ «Шельф» в масштабе 1:50 в волновом бассейне сотрудниками кафедры «Морские и воднотранспортные сооружения» (МВТС) Санкт-Петербургского государственного политехнического университета [2]. Основной целью экспериментов являлась

качественная оценка поведения ППБУ при попадании ее в зону выхода факела на поверхность и оценка внешних факторов, действующих на установку в этих условиях.

Исследования проводились в гидроволновом бассейне глубиной 1,2 м с максимальной глубиной наполнения 1,16 м. Для проведения экспериментов использовалась геометрически подобная модель ППБУ, у которой было обеспечено подобие формы понтонов, колонн, раскосов и нижней части верхнего корпуса. В процессе проведения экспериментальных исследований регистрировались следующие параметры: параметры волн на поверхности воды, линейные и угловые перемещения ППБУ, нагрузки в якорных связях.

Для моделирования пузырькового факела использовался сжатый воздух. Воздух по шлангам через редуктор подводился к коллектору с форсункой установленному на дне бассейна. Эксперименты проводились для двух положений источника грифона. В одной серии экспериментов источник находился под центром тяжести ППБУ, в другой серии экспериментов источник находился под центром одного из понтонов. Анализ результатов экспериментов показал, что в первом случае, когда центр тяжести модели находился над центром буруна пузырькового факела, наблюдались как вертикальные, так и угловые нерегулярные колебания модели. Максимальная вертикальная амплитуда колебания модели составила 0,8 см при расходе воздуха  $20 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ , что в натуре составит 0,4 м при расходе газа  $300 \text{ м}^3/\text{с}$ . Во втором случае наблюдался устойчивый крен модели, который возрастал линейно в зависимости от расхода воздуха в коллекторе. Максимальный угол крена составил  $8^\circ$  при расходе газа  $300 \text{ м}^3/\text{с}$  приведенного к натурным условиям.

Проведение экспериментов в малых масштабах (1:50) связано с нарушением критериев подобия пузырькового факела, что приводит к искажению физической картины явления и не дает возможности с достаточной достоверностью количественно оценить гидромеханические характеристики ППБУ при нахождении ее в зоне факела. Для этого необходимо проводить крупномасштабные эксперименты.

Гидродинамический эффект, вызываемый пузырьковым факелом, был изучен, описан и получил применение как при разработке пневматических волноломов, пневматических барьеров преграждающих путь нефтяным пятнам, так и в качестве удерживающего и направляющего воздействия при прохождении судов через узкости. Методы расчетов, результаты и опыт, описанный в этих работах, следует использовать, но с учетом следующих факторов:

- ППБУ используются в основном на глубинах более 100 м, СПБУ на глубинах до 120 м, а пневматические волноломы устанавливаются при глубинах, не превышающих 20 метров [1].
- Расход природного газа при возникновении грифона может составлять  $50 - 350 \text{ м}^3/\text{с}$  и источник выброса является сосредоточенным, а при работе пневмоволноломов – рассредоточенным, удельный расход воздуха не превышает  $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$  на погонный метр.

Совершенно очевидно, что воздействия от грифонов необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации сооружений на шельфе, но для внесения рекомендаций в СНиПы необходимо проведение дополнительных, как теоретических, так и экспериментальных исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Квочкин П.В., Христофоров В.С., Строкин А.А., Загрядский И.В., Кравчук Ю.Д., Пучков В.С. Пневматические волноломы и их гасящее действие. Труды координационного совещания по гидротехнике. Выпуск XII. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева 1964 г. стр. 5 – 83.
2. Отчет о научно-исследовательской работе кафедры «Водные пути и порты» ЛПИ им. Калинина «Экспериментально-теоретические исследования внешних воздействий на плавучие буровые установки в условиях северных и дальневосточных морей» стр. 120-162. 1987 г

3. Milgram J.H., Erb P.P. How Floaters Respond to Subsea Blowouts – Petroleum Engineer International, 1984, № 7, p. 64-70.
4. Milgram J.H., Van Houten P.J. Plumes from subsea well blowouts. Behavior of offshore structures. – Proceedings of 3rd International Conference. Cambridge, Mass, 1982, vol.1. Washington, 1983. p. 650-684.