



УДК 53.06, 556.042

Смирнова Мария Валерьевна, к.т.н., доцент кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Капустин Иван Александрович, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, старший научный сотрудник кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Глухова Вероника Сергеевна, студент 1-го курса магистратуры направления подготовки «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Носова Анжелика Дмитриевна, студент 1-го курса магистратуры направления подготовки «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Лазарева Татьяна Николаевна, программист отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), 603950, г. Нижний Новгород. БОКС - 120, ул. Ульянова, 46.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №18-38-00861)

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНКИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА ВБЛИЗИ ОБЛАСТИ ВЫХОДА ИЗ ВОДЫ ПУЗЫРЬКОВОГО ПОТОКА

Ключевые слова: пленка ПАВ, пузырьковый поток, течения в жидкости, сеточные пробы из поверхностного микрослоя воды, метод параметрических волн

Аннотация. В работе рассмотрены результаты лабораторных экспериментов по моделированию пузырькового потока в воде, загрязненной микроколичествами поверхностно-активных веществ (ПАВ). Сеточные пробы пленки, взятые с поверхности воды, показали, что уже в течение первых минут действия пузырькового потока происходит вынос и накопление ПАВ на поверхности воды. Получены данные о динамике накопления пленки ПАВ при разных интенсивностях пузырькового потока. Результаты показывают возможность дистанционного обнаружения пузырьковых потоков по появлению пленок на поверхности воды в натуральных условиях.

Настоящая работа посвящена изучению процесса формирования тонкой пленки ПАВ на поверхности воды в результате выноса всплывающими в воде пузырьками газа микроколичеств ПАВ, соответствующих их концентрации в природных водах. Одним из важных практических приложений эффекта появления такой пленки является возможность дистанционного обнаружения подводных пузырьковых течений, возникающих вследствие аварий на подводных газопроводах [1, 2].

Ранее были выполнены эксперименты по изучению структуры течений, формируемых вокруг области выхода газа [3] и было показано, что на некотором расстоянии от пузырькового потока в верхних слоях воды формируется зона конвергенции течений, в которой, предположительно, скапливается пленка вынесенных на поверхность воды ПАВ. Причем, расстояние от оси пузырькового потока до зоны конвергенции течений находится в прямой зависимости от интенсивности газового потока.

Следующим этапом эксперимента стала проверка гипотезы о появлении на поверхности воды пленки ПАВ и утолщении ее со временем при непрерывном действии пузырькового потока. Схема лабораторной установки показана на рис. 1. В лабораторной кювете, заполненной 80 литрами воды, формировался плоский пузырьковый поток. Для этого воздух подавался с помощью компрессора через эжектор, где происходило измельчение пузырьков, а затем выпускался через трубку с щелевидной прорезью шириной 0,5 мм, расположенную на дне вдоль короткой стенки кюветы.

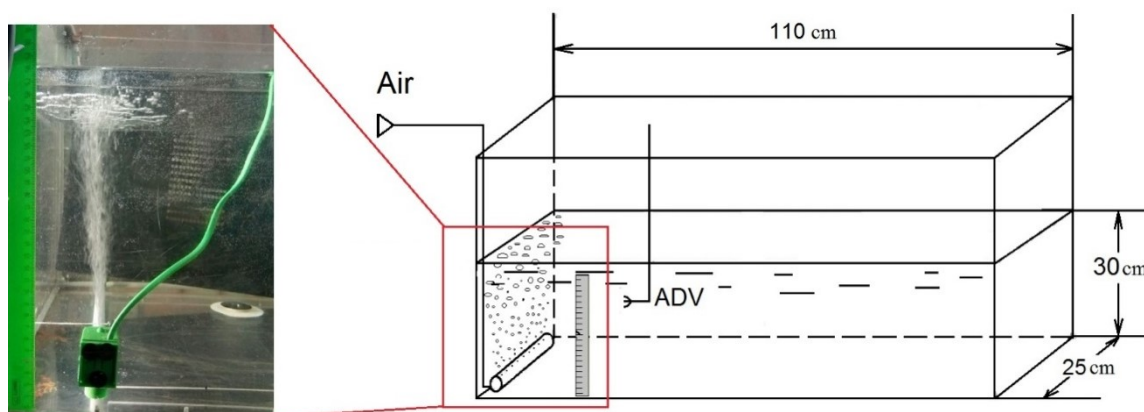


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: а-вид сбоку; б-схема установки, ADV – акустический доплеровский измеритель течения

Моделирование природных и антропогенных ПАВ выполнялось с применением раствора додецилсульфата натрия, добавленного в воду в концентрации 0,5 мг/л, что соответствует предельно допустимой концентрации данного ПАВ в рыбохозяйственных водоемах. Для отбора проб пленки с поверхности воды использовалась сеточная методика отбора проб [4]. Дальнейшее восстановление характеристик пленки – относительного коэффициента затухания, коэффициента поверхностного натяжения и упругости – выполнялось по методу параметрических волн [4]. Было проведено несколько серий экспериментов продолжительностью 15 мин при различных расходах газа. Перед началом экспериментов поверхность воды очищалась от пленки и бралась фоновая проба.

Во время экспериментов над областью пузырькового потока формировалась пена, которая была тем обильнее, чем интенсивнее был пузырьковый поток. По мере разрушения пены, пленка ПАВ, содержащаяся в ней, должна была оставаться на поверхности воды. Сеточные пробы пленки с поверхности воды показали, что уже в первые минуты действия пузырькового потока происходил вынос ПАВ из толщи воды, это сказывалось на относительном коэффициенте затухания мелкомасштабных волн, который возрастал при увеличении времени работы «пузырькового насоса» с 2 до 4 – 5 с⁻¹.

Коэффициент поверхностного натяжения плавно снижался с 64 – 67 мН/м для чистой поверхности воды до 51 – 52 мН/м для пленки. Упругость пленки, наоборот, возрастала с 1,5 – 2 мН/м для чистой поверхности воды до 20 мН/м и более через 15 минут действия пузырькового потока, что свидетельствует о накоплении пленки ПАВ на поверхности воды.

Таким образом, лабораторные эксперименты подтвердили образование пленки ПАВ вблизи области выхода газа, что указывает на возможность его дистанционного обнаружения в природных условиях.

Список литературы:

- [1] Smirnova M. V., Kapustin I. A. On possibility of remote detection of gas leaks from underwater pipelines using specific slick signatures // Proc. SPIE 11150, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2019, 111501U (14 October 2019); doi 10.1117/12.2536901
- [2] Смирнова М.В., Капустин И.А., Лазарева Т.Н. Экспериментальное исследование процесса выноса поверхностно-активных веществ всплывающими в жидкости пузырьками газа в приложении к проблеме обнаружения утечек из подводных газопроводов // Сборник тезисов докладов 16-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Изд-во: ИКИ РАН. - - 2018. - с. 320. DOI 10.21046/2070-16DZZconf-2018a
- [3] Смирнова М.В., Капустин И.А., Глухова В.С., Носова А.Д. Изменение средних и пульсационных скоростей течений, формируемых восходящим пузырьковым потоком в приповерхностном слое воды в присутствии пленки поверхностно-активного вещества // Вестник ВГАВТ. № 60 (2019). с.104 – 112.
- [4] Ермаков С.А. Влияние пленок на динамику гравитационно-капиллярных волн. – Н. Новгород: ИПФ РАН, 2010. - 164 с.

FORMATION OF A SURFACTANT FILM AROUND THE GAS BUBBLES OUTLET AREA ON THE WATER SURFACE

Smirnova M.V., Kapustin I.A., Glukhova V.S., Nosova A.D., Lazareva T.N.
igoninam@yandex.ru

Key words: surfactant film, bubble flow, flows in liquid, grid samples from the micro-layer of water surface, method of parametrically excited waves

The results of laboratory experiments on modeling bubble flow in water contaminated with trace amounts of surfactants are considered. Grid samples of the film taken from the water surface showed that within the first minutes of the action of the bubble flow there is a removal and accumulation of surfactants on the water surface. Data on the dynamics of surfactant film accumulation at different bubble flow intensities were obtained. The results confirm the possibility of remote detection of bubble flows by the appearance of films on the water surface under natural conditions.