

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 504.064.4:504.4.062.2:504.455

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-128-138

Лабораторные исследования устройства для аэрации водоемов с использованием солнечной радиации в условиях Сирии

Хуссейн Исмаил¹, Мунзер Сулейман Али², Павел Александрович Михеев³

^{1,2,3}Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

¹husseinismaeil93@gmail.com

²munzer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2295-8140>

³mikheev.pa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2041-1790>

Аннотация. Цель: экспериментальные исследования и оценка технических возможностей устройства для аэрации придонных слоев воды водохранилищ с использованием солнечной радиации в условиях Сирии. **Материалы и методы.** В качестве метода исследований принят эмпирический. В соответствии с патентом на полезную модель экспериментальная установка представляла собой металлический цилиндрический корпус емкости-накопителя, в нижней части которого располагался штуцер, соединенный с пластиковой трубкой-воздухопроводом. Для повышения поглотительной способности солнечной радиации и последующего излучения тепла молекулам воздуха емкости-накопителя корпус был окрашен в черный цвет. **Результаты.** В процессе лабораторных исследований в условиях различных значений температуры воздуха при оценке возможностей устройства было выделено три характерных периода его работы: интенсивный – период с активным выходом воздуха продолжительностью 110–120 мин; переходный – с постепенным падением интенсивности более чем в два раза продолжительностью от 10 до 30 мин; стабильный – период с практически равномерным выходом воздуха максимально наблюдаемой продолжительностью до 60 мин. Анализ материалов исследований показал, что в зависимости от дневной температуры объем воздуха, вышедшего более чем за 180 мин наблюдений, составлял до 7,6 л. При этом во всех опытах более 90 % объема воздуха выходило в течение первых 120 мин, что следует признать периодом активной работы устройства. **Выводы.** По результатам экспериментов на открытой площадке в климатических условиях Сирии доказана возможность аэрации естественных водоемов с помощью устройства для аэрации придонных слоев воды, работа которого основана на использовании солнечной радиации без применения традиционных источников энергии.

Ключевые слова: водохранилище, устройство для аэрации, солнечная радиация, опытная установка, глубина, уровень воды

Для цитирования: Исмаил Х., Али М. С., Михеев П. А. Лабораторные исследования устройства для аэрации водоемов с использованием солнечной радиации в условиях Сирии // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 128–138. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-128-138>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Laboratory study of the unit for reservoir aeration using solar radiation under Syrian conditions



Hussein Ismaeil¹, Munzer S. Ali², Pavel A. Mikheev³

^{1,2,3}Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russian Federation

¹husseinismaeil93@gmail.com

²munzer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2295-8140>

³mikheev.pa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2041-1790>

Abstract. Purpose: experimental study and assessment of technical capabilities of a device for aerating the water bottom layers in reservoirs using solar radiation in Syrian conditions. **Materials and methods.** Empirical method was adopted as a research method. In accordance with the patent for a utility model, the experimental unit was a metal cylindrical body of a storage tank, in the lower part of which there was a fitting connected to a plastic air tube. **Results.** In the process of laboratory studies under conditions of different air temperatures, when assessing the capabilities of the unit, three characteristic periods of its operation were identified: intensive – a period with active air output lasting 110–120 minutes; transitional – with a gradual drop in intensity by more than half, lasting from 10 to 30 minutes; stable – a period with an almost uniform air output with a maximum observable duration of up to 60 minutes. An analysis of research materials showed that, depending on the daytime temperature, the air volume released during more than 180 minutes of observation was up to 7.6 liters. Moreover, in all experiments, more than 90 % of the air volume came out during the first 120 minutes, which should be considered as the period of active operation of the unit. **Conclusions.** Based on the results of experiments in an open area in the climatic conditions of Syria, the possibility of aerating natural reservoirs using a device for aerating bottom layers of water, the operation of which is based on the use of solar radiation without traditional energy sources, was proven.

Keywords: reservoir, aeration facility, solar radiation, pilot plant, depth, water level

For citation: Ismaeil H., Ali M. S., Mikheev P. A. Laboratory study of the unit for reservoir aeration using solar radiation under Syrian conditions. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(2):128–138. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-128-138>.

Введение. Рост численности населения, отсутствие надлежащего управления и оптимальной эксплуатации водохозяйственных систем усиливают дефицит водных ресурсов в Сирии, испытывающей большие трудности с обеспечением потребностей жилищно-коммунального хозяйства и сельскохозяйственных нужд [1]. Происходящие изменения климата и повышение средних температур в Сирии привели к уменьшению среднегодового количества осадков, что может негативно отразиться в первую очередь на сельскохозяйственном секторе [2]. В этой связи улучшение качества воды поверхностных водных источников посредством аэрации является для республики насущной проблемой, требующей всестороннего анализа и оперативного решения. Так как процесс аэрации характеризуется значи-

тельными энергетическими затратами (до 80 % потребляемой электроэнергии при биологической очистке воды [3]), разработка технических решений аэраторов с низким потреблением энергии актуальна.

В рамках решаемых проблем улучшения качества воды поверхностных источников Сирии [4] в настоящей работе представлены результаты лабораторных исследований устройства для аэрации придонных слоев воды водохранилищ с использованием солнечной радиации в условиях Сирийской Арабской Республики (САР).

Материалы и методы. Объектом исследований являются водохранилища западных провинций САР. Климат региона характеризуется теплым, сухим и ясным летом, прохладной, влажной, ветреной и часто облачной зимой. Так, среднегодовая температура на прибрежной равнине составляет 18,1 °С, при этом средняя температура августа (самого жаркого месяца) – 29,9 °С при абсолютном максимуме температур 40,1–42,0 °С [5]. Показатели солнечной радиации постепенно увеличиваются, начиная с начала февраля, достигая своего максимума в августе, но повышенные температуры продолжают еще и в сентябре, что связано с морскими особенностями исследуемого района [6]. Повышенные температуры воздуха приводят к росту температуры воды в водохранилищах, что ухудшает качество воды и условия водопользования в летне-осенний период.

Другие климатические характеристики региона, такие как скорость и направление ветра при среднегодовом колебании 3,6–3,8 м/с и относительная влажность воздуха (73–67 %), находятся в пределах климатических норм [6].

Проблемы водного хозяйства САР осложняются наличием значительного дефицита топливно-энергетических ресурсов [7, 8], в связи с чем целью настоящих исследований являлась оценка возможностей разработанной конструкции устройства для аэрации придонных слоев воды [9] с использованием солнечной радиации в местных условиях.

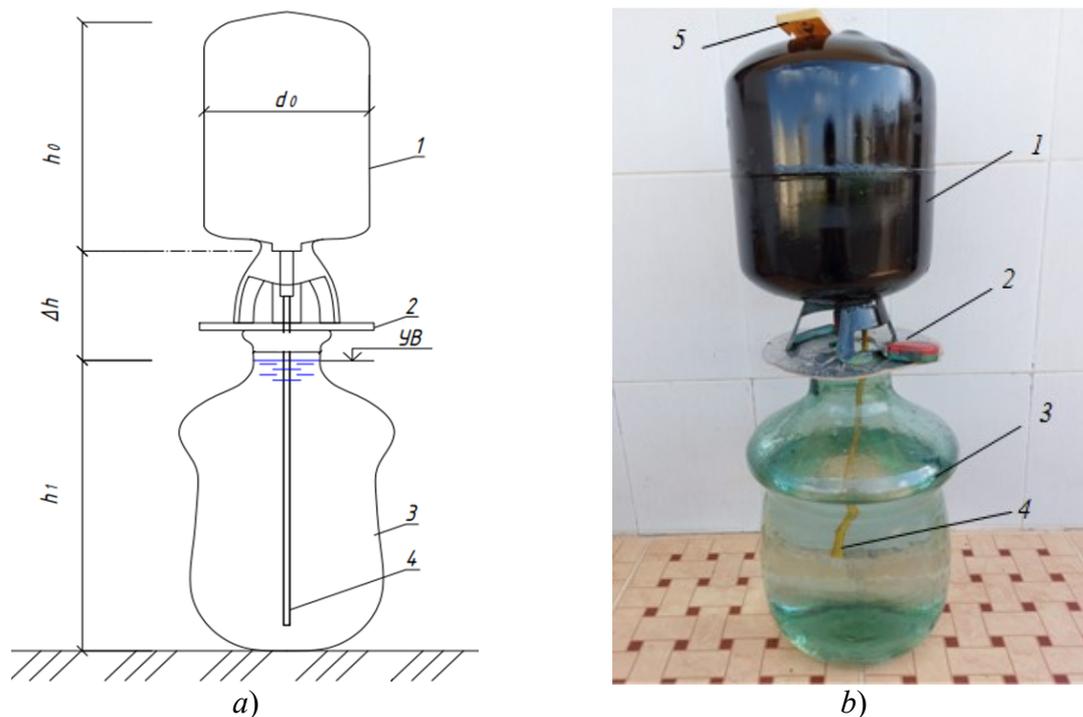
Устройство для аэрации придонных слоев воды, в соответствии с патентом на полезную модель [9], включает емкость-накопитель, выполненную в виде шара, в верхней части которого размещен шаровой клапан, а снизу трубка-воздухопровод. По ней воздух при нагревании емкости-накопителя в дневное время поступает в придонный слой воды, обогащая кислородом наиболее обедненный слой водоема. В ночное время воздух в емкости-накопителе охлаждается, давление в полости снижается ниже атмосферного, при котором открывается шаровой клапан и атмосферный воздух заполняет полость емкости-накопителя, в последующем цикл день-ночь повторяется.

Экспериментальные исследования проводились в сентябре – октябре 2023 г., экспериментальная установка представляла собой металлический цилиндрический корпус емкости-накопителя, в нижней части которого располагался штуцер, соединенный с пластиковой трубкой-воздухопроводом. Для повышения поглотительной способности солнечной радиации и последующего излучения тепла молекулам воздуха емкости-накопителя корпус был окрашен в черный цвет.

В лабораторных опытах установка размещалась на подставке, трубка-воздухопровод опускалась в стеклянную емкость с водой глубиной $h_1 = 60,0$ см, выполняющую роль водоема (рисунок 1).

Размеры экспериментальной установки были следующими: высота металлического корпуса $h_0 = 30,0$ см; внешний диаметр $d_0 = 24,3$ см; объем 10,0 л; внутренний диаметр трубки-воздухопровода 8 мм; длина 60,0 см.

На данном этапе исследований устройства для аэрации придонных слоев воды шаровой клапан не предусматривался, процесс «зарядки» емкости-накопителя воздухом осуществлялся вручную. Для этого емкость-накопитель поднималась и располагалась на площадке в ночной период вне емкости с водой. На следующий день эксперимент повторялся после опускания трубки-воздухопровода в воду и установки емкости-накопителя на подставке.



a – схема установки; *b* – общий вид установки; 1 – емкость-накопитель; 2 – подставка для емкости-накопителя; 3 – емкость с водой; 4 – трубка-воздухопровод; 5 – термометр; h_0 и d_0 – размеры емкости-накопителя, соответственно высота и внешний диаметр; Δh – высота подставки; h_1 – глубина воды в емкости

a – installation diagram; *b* – general view of the installation; 1 – storage container; 2 – stand for storage container; 3 – water container; 4 – tube-air line; 5 – thermometer; h_0 and d_0 – the dimensions of the storage tank, height and outer diameter, respectively; Δh – stand height; h_1 – water depth in the tank

**Рисунок 1 – Экспериментальная установка
в лабораторных условиях (фото Х. Исмаила)**

Figure 1 – Experimental unit in laboratory conditions (photo by H. Ismaeil)

В ходе лабораторных исследований опытная установка размещалась на открытой площадке таким образом, чтобы солнечные лучи попадали на поверхность емкости-накопителя в течение всего светового дня. Процесс работы устройства (выход пузырьков воздуха) фиксировался видеокамерой, съемка производилась при естественном свете, для чего установка размещалась на светлом фоне в устойчивом солнечном потоке в течение всего эксперимента (см. рисунок 1*b*).

В начале опыта фиксировались дата, время суток и температура воздуха в момент установки емкости-накопителя на подставке. Глубина погружения трубки-воздухопровода под уровень воды в опытах была посто-

янной, равной 40 см. Для оценки процесса поступления воздуха в воду в качестве показателя принято количество пузырьков, выходящих из трубки-воздухопровода, количество выходящих пузырьков фиксировалось с использованием видеокамеры. В последующем производилась дешифровка видеосъемки с использованием программы замедления видео, и подсчитывалось количество пузырьков воздуха, выходящих каждые 10 мин. Время в опытах фиксировалось с помощью секундомера. В момент выхода первого пузырька определялся промежуток времени с начала опыта и температура корпуса емкости-накопителя, эти же показатели фиксировались и в конце опыта, когда выделение пузырьков практически стабилизировалось на минимальном уровне.

В период с 28 сентября по 22 октября 2023 г. на открытой площадке в г. Кирсана (провинция Латакия) были выполнены работы по изготовлению экспериментальной установки, отработке методики, а также проведены опыты при разных значениях температуры воздуха.

Результаты и обсуждение. Основные данные экспериментальных исследований, посвященных оценке количества пузырьков воздуха, выходящих из трубки-воздуховода, в зависимости от температурных показателей среды, в определенные промежутки времени опыта, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Опытные данные, показывающие зависимость количества выходящих пузырьков воздуха от температуры среды

Table 1 – Experimental data showing the dependence of the number of released air bubbles on the environment temperature

Дата опыта	Температура, °С			Время суток в опыте на момент			Количество пузырьков за период 10 мин в опыте на			
	воздуха	корпуса на начало	корпуса на конец	начала	выхода первого пузырька	окончания	10-й минуте	60-й минуте	120-й минуте	180-й минуте
14.10.2023	27,0	30,0	55,0	12:00	12:04	15:25	3800	3333	1680	300
18.10.2023	24,0	28,0	54,0	10:30	10:35	14:00	3416	2965	1355	155
19.10.2023	29,0	32,0	54,0	11:30	11:34	14:50	4000	3545	1835	372

В ходе опытов установлено активное включение устройства и интенсивное выделение пузырьков воздуха, причем отмечаются общие закономерности в процессе выхода пузырьков, которые можно разделить на три характерных периода:

- интенсивный – период с активным выходом пузырьков, как показала дешифровка видеозаписи, до нескольких пузырьков в секунду продолжительностью 110–120 мин;

- переходный – период падения интенсивности более чем в два раза продолжительностью от 10 до 30 мин, причем длительность периода возрастает с увеличением температуры воздуха;

- стабильный – период с практически равномерным выходом пузырьков, составляющим менее единицы в секунду, и максимально наблюдаемой продолжительностью до 60 мин при меньших температурах воздуха.

Как следует из полученных данных, для исследуемого объема емкости-накопителя продолжительность выхода основной массы пузырьков независимо от температуры наружного воздуха в среднем превышает 180 мин.

Дальнейшая обработка экспериментального материала состояла в количественной оценке объема выходящего воздуха, с этой целью рассмотрено несколько известных в литературе моделей образования пузырьков в спокойных жидкостях при постоянном объемном расходе [10–12]. На данном этапе исследований в качестве рабочей гипотезы было принято условие, в соответствии с которым объем пузырька $W_{\text{пуз}}$ определялся при диаметре пузырька на выходе из трубки-воздуховода, равном ее диаметру $D_{\text{тр}}$, по формуле:

$$W_{\text{пуз}} = \frac{\pi D_{\text{тр}}^3}{6}.$$

В результате пересчета количества пузырьков в объем воздуха, выходящего из емкости-накопителя каждые 10 мин, построены графические

зависимости изменения объема вышедшего воздуха во времени t при разных значениях температуры наружного воздуха T (рисунок 2).

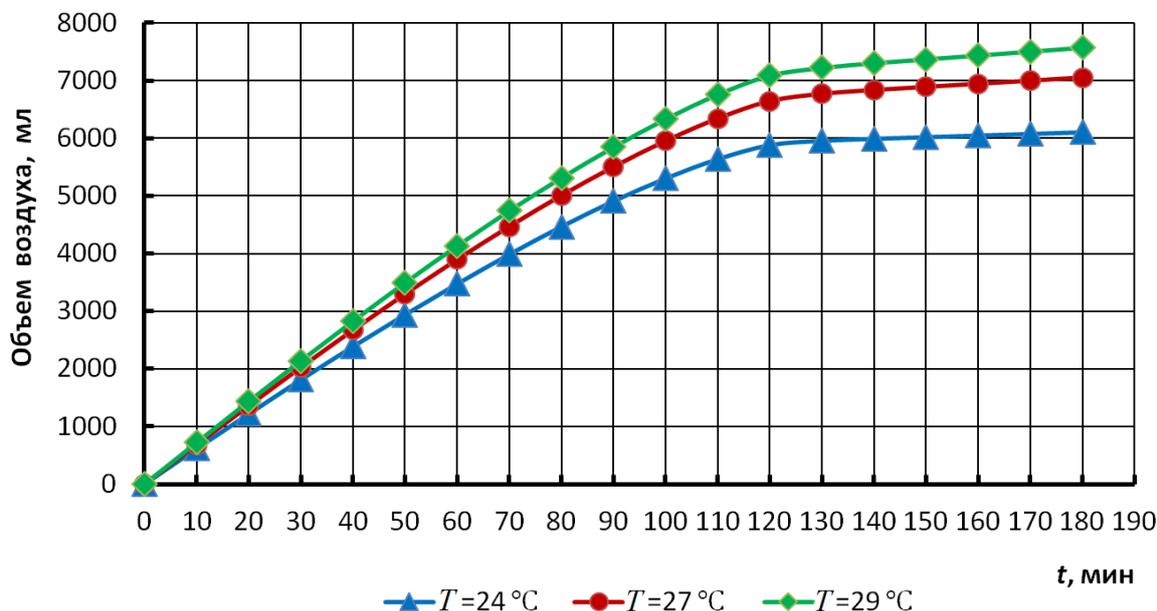


Рисунок 2 – Закономерность изменения объема воздуха, вышедшего за время работы устройства

Figure 2 – Regularity of air volume change, released during facility operation

Анализ результатов показывает, что в зависимости от дневной температуры объем воздуха, вышедшего более чем за 180 мин наблюдений, составлял от 6,1 до 7,6 л. При этом практически во всех опытах более 90 % объема воздуха выходило в течение первых 120 мин. Очевидно, что этот промежуток времени следует признать периодом активной работы устройства.

Выводы. Экспериментальные исследования опытной установки устройства для аэрации придонных слоев воды в климатических условиях Сирии показали устойчивую работу конструкции по насыщению воды воздухом в течение более 3 ч, а также позволили установить объем подаваемого воздуха, который составил более 70 % от рабочего объема емкости-накопителя. Таким образом, была доказана возможность аэрации естественных водоемов с помощью устройства, работа которого основана на использовании солнечной радиации без применения традиционных источников энергии.

Список источников

1. Spatial and temporal variability of rainfall trends in response to climate change – A case study: Syria / M. Zelenakova, H. F. Abd-Elhamid, K. Krajnikova, J. Smetankova, P. Parks, I. Alkhalaf // *Water*. 2022. 14(10). 1670. <https://doi.org/10.3390/w14101670>. EDN: MBMJFU.
2. Abu Hammad A. H., Salameh A. A., Fallah R. Q. Precipitation variability and probabilities of extreme events in the Eastern Mediterranean region (Latakia Governorate – Syria as a case study) // *Atmosphere*. 2022. 13(1). 131. <https://doi.org/10.3390/atmos13010131>. EDN: MBHPXU.
3. Баженов В. И., Эпов А. Н. Энергосбережение как критерий выбора аэратора // *НДТ*. 2012. Спец. вып. С. 2–17.
4. Михеев П. А., Саббух Х. Ш., Исмаил Х. О возможностях подготовки питьевой воды из поверхностных источников Сирии // *Природообустройство*. 2022. № 1. С. 93–101. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-93-101. EDN: OHCMZB.
5. Initial national communication of the Syrian Arab Republic [Electronic resource] / comp. and ed. by Y. Meslmani; Ministry of State for Environment Affairs. 2010. 149 p. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/syrnc1.pdf> (date of access: 15.03.2024).
6. Fallah R. Q., Alwaraa A. Thermal characteristics of Latakia Governorate during the period 1990–2020 // *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences*. 2022. 1(4). P. 113–126.
7. Alhaj Omar F., Mahmoud I., Cedano-Villavicencio K. G. Prospects of PV energy systems in addressing energy poverty in Syria. 2022. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4232758>. EDN: UPTJLG.
8. Diab Y., Hajjar A. Electricity in war-torn Aleppo: A new form of urban management / transl. by O. Waïne // *Metropolitics* [Electronic resource]. Nov. 23, 2018. URL: <https://metropolitics.org/Electricity-in-War-Torn-Aleppo-A-New-Form-of-Urban-Management.html> (date of access: 15.03.2024).
9. Пат. на полез. модель 214200 Российская Федерация, МПК С 02 F 7/00, В 01 F 23/231. Устройство для аэрации придонных слоев воды / Петрашкевич В. В., Михеев П. А., Бенин Д. М., Исмаил Х. А. А., Петрашкевич А. В., Мунтяну Д.; заявитель Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева. № 2022112382; заявл. 06.05.22; опубл. 14.10.22. EDN: GSPJDW.
10. Викулина В. Б., Инешина Л. В. Теоретические исследования движения пузырьков воздуха в потоке воды при аэрации // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. 2019. № 10. С. 22–24. EDN: IGTZPS.
11. Gaddis E. S., Vogelpohl A. Bubble formation in quiescent liquids under constant flow conditions // *Chemical Engineering Science*. 1986. Vol. 41, № 1. P. 97–105. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(86\)85202-2](https://doi.org/10.1016/0009-2509(86)85202-2).
12. Badam V. K., Buwa V., Durst F. Experimental investigations of regimes of bubble formation on submerged orifices under constant flow condition // *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2008. Vol. 85, iss. 3. P. 257–267. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450850301>. EDN: YACPAX.

References

1. Zelenakova M., Abd-Elhamid H.F., Krajnikova K., Smetankova J., Parks P., Alkhalaf I., 2022. Spatial and temporal variability of rainfall trends in response to climate change – A case study: Syria. *Water*, 14(10), 1670, <https://doi.org/10.3390/w14101670>, EDN: MBMJFU.
2. Abu Hammad A.H., Salameh A.A., Fallah R.Q., 2022. Precipitation variability and probabilities of extreme events in the Eastern Mediterranean region (Latakia Governorate – Syria as a case study). *Atmosphere*, 13(1), 131, <https://doi.org/10.3390/atmos13010131>, EDN: MBHPXU.

3. Bazhenov V.I., Epov A.N., 2012. *Energoberezhenie kak kriteriy vybora aeratora* [Power conservation as a criterion of choosing an aerator]. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniia i vodootvedeniia* [NDT], spec. iss., pp. 2-17. (In Russian).

4. Mikheev P.A., Sabbukh Kh.Sh., Ismaeil H., 2022. *O vozmozhnostyakh podgotovki pit'yevoy vody iz poverkhnostnykh istochnikov Sirii* [On the possibilities of drinking water preparation from surface sources in Syria]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 93-101, DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-93-101, EDN: OHCMZB. (In Russian).

5. Meslmani Y. (comp. and ed.), 2010. Initial national communication of the Syrian Arab Republic. Ministry of State for Environment Affairs, 149 p., available: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/syrnc1.pdf> [accessed 15.03.2024].

6. Fallah R.Q., Alwaraa A., 2022. Thermal characteristics of Latakia Governorate during the period 1990-2020. *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences*, 1(4), pp. 113-126.

7. Alhaj Omar F., Mahmoud I., Cedano-Villavicencio K.G., 2022. Prospects of PV energy systems in addressing energy poverty in Syria, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4232758>, EDN: UPTJLG.

8. Diab Y., Hajjar A., 2018. Electricity in war-torn Aleppo: A new form of urban management. *Metropolitica*, Nov. 23, available: <https://metropolitica.org/Electricity-in-War-Torn-Aleppo-A-New-Form-of-Urban-Management.html> [accessed 15.03.2024].

9. Petrashkevich V.V., Mikheev P.A., Benin D.M., Ismaeil H.A.A., Petrashkevich A.V., Munteanu D., 2022. *Ustroystvo dlya aeratsii pridonnykh sloev vody* [Device for Aeration of Water Bottom Layers]. Patent RF, no. 214200, EDN: GSPJDW. (In Russian).

10. Vikulina V.B., Ineshina L.V., 2019. *Teoreticheskie issledovaniya dvizheniya puzyr'kov vozdukh v potoke vody pri aeratsii* [Theoretical studies of the motion of air bubbles in the water flow during aeration]. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie* [Plumbing, Heating, Air Conditioning], no. 10, pp. 22-24, EDN: IGTZPS. (In Russian).

11. Gaddis E.S., Vogelpohl A., 1986. Bubble formation in quiescent liquids under constant flow conditions. *Chemical Engineering Science*, vol. 41, no. 1, pp. 97-105, [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(86\)85202-2](https://doi.org/10.1016/0009-2509(86)85202-2).

12. Badam V.K., Buwa V., Durst F., 2008. Experimental investigations of regimes of bubble formation on submerged orifices under constant flow condition. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 85, iss. 3, pp. 257-267, <https://doi.org/10.1002/cjce.5450850301>, EDN: YACPAX.

Информация об авторах

Х. Исмаил – аспирант, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, huseinismaeil93@gmail.com;

М. С. Али – заведующий кафедрой, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, munzer@yandex.ru, AuthorID: 709443, ORCID ID: 0000-0003-2295-8140;

П. А. Михеев – заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, mikheev.pa@gmail.com, AuthorID: 632792, ORCID ID: 0000-0003-2041-1790.

Information about the authors

H. Ismaeil – Postgraduate Student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, huseinismaeil93@gmail.com;

M. S. Ali – Head of the Department, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, munzer@yandex.ru, AuthorID: 709443, ORCID ID: 0000-0003-2295-8140;
P. A. Mikheev – Head of the Department, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, mikheev.pa@gmail.com, AuthorID: 632792, ORCID ID: 0000-0003-2041-1790.

Вклад авторов: Х. Исмаил – монтаж модели, проведение опыта и обработка опытных данных, анализ результатов, участие в написании статьи. М. С. Али – анализ результатов, участие в формулировании выводов и написании статьи. П. А. Михеев – формирование основной концепции, постановка целей и задач исследования, анализ результатов, участие в формулировании выводов и написании статьи.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: H. Ismaeil – installation of the model, conduction of the experiment and experimental data processing, analysis of the results, participation in writing the article. M. S. Ali – analysis of the results, participation in formulating conclusions and writing the article. P. A. Mikheev – formation of the main conceptual ideas, setting goals and objectives of the study, analysis of the results, participation in formulating conclusions and writing the article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.03.2024; одобрена после рецензирования 23.04.2024; принята к публикации 23.04.2024.

The article was submitted 05.03.2024; approved after reviewing 23.04.2024; accepted for publication 23.04.2024.