

УДК 621.039.586:614.876

В. Н. ВАЩЕНКО, И. Б. КОРДУБА, Е. А. ЛОЗА, Ю. М. КРИЗСКАЯ**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНХРОННОГО ВЛИЯНИЯ СМЕРЧА И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ВОДОЕМ-ОХЛАДИТЕЛЬ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ПРОЦЕССЕ ЕГО ОСУШЕНИЯ**

Масштабная авария на АЭС Фукусима-1 подчеркнула актуальность моделирования воздействия относительно маловероятных природных экстремальных явлений на радиационно-загрязненные природно-техногенные водные комплексы, каким является и частично осушенный водоем-охладитель ЧАЭС. Чернобыльская зона отчуждения является регионом с вероятностью возникновения смерча $6 \cdot 10^{-3}$ 1/год. Не изученное явление синхронного воздействия смерча и землетрясения на водоем-охладитель может привести к затоплению ограждающей его дамбы. В настоящей работе выполняется моделирование возможного затопления оградительной дамбы водоема-охладителя в случае синхронного влияния смерча и землетрясения на основе метода профессора В. И. Скалозубова.

Ключевые слова: водоем-охладитель, осушение, маловероятные внешние воздействия, смерч, землетрясение, синхронное воздействие, моделирование, волна затопления.

Велика аварія на АЕС Фукусима-1 підкреслила актуальність моделювання впливу малоімовірних природних екстремальних явищ на радіаційно-забруднені природно-техногенні водні комплекси, яким є і частково осушена водойма-охолоджувач ЧАЕС. Чорнобильська зона відчуження є регіоном з ймовірністю виникнення смерчу $6 \cdot 10^{-3}$ 1/рік. Не досліджене явище синхронного впливу смерчу і землетрусу на водойму-охолоджувач здатне призвести до затоплення його огорожувальної дамби. У даній роботі виконується моделювання можливого затоплення огорожувальної дамби водойми-охолоджувача у разі синхронного впливу смерчу і землетрусу на основі гідродинамічного методу професора В. І. Скалозубова.

Ключові слова: водойма-охолоджувач, осушення, малоімовірні зовнішні впливи, смерч, землетрус, синхронний вплив, моделювання, хвиля затоплення.

One of the main lessons of radioecological disaster at Fukushima-Daiichi NPP is inexcusability to exclude modeling and analysis of relatively low-frequency extreme natural phenomenon (such as tornadoes and earthquakes) impact at radioactive contaminated natural and industrial water bodies from research programs. One of such water bodies is partially-dried Chernobyl NPP coolant pool. In paper [1] published in 1989 the Chernobyl Alienation Zone was shown to be located in an increased tornado hazard area with tornado probability of $6 \cdot 10^{-3}$ per year. Therefore an underexplored problem of possible radioecological risks caused by possible synchronous tornado and earthquake impact at partially dried Chernobyl coolant pool is of high importance. Such impact can amplify formation process and scale of the flooding wave, which height can overflow barrier dam of the pool.

In the present paper the analysis of Chernobyl NPP coolant pool barrier dam flooding is made based on V.I.Skalozubov hydrodynamic method, earlier successfully used to model possible Zaporizhka NPP industrial site flooding.

Keywords: coolant pool, drying, low probable external impacts, tornado, earthquake, synchronous impact, modeling, flood wave.

Введение. Опыт первых лет выведения из эксплуатации водоема-охладителя Чернобыльской АЭС предопределил необходимость решения задач, связанных с опасными радиоэкологическими последствиями, которые могут возникнуть в результате внешних экстремальных природных влияний на ВО ЧАЭС. Среди таких экстремальных явлений – смерчи и землетрясения [1]. Актуальной задачей является обеспечение экологической безопасности на протяжении всего жизненного цикла водоема и предотвращения негативных радиоэкологических последствий при любых комбинациях природных и техногенных внутренних и внешних воздействий с учетом уроков большой Фукусимской катастрофы [2–4]. Анализ главных уроков большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi также определил необходимость пересмотра и усовершенствования детерминистского анализа влияния на ВО ЧАЭС подобных маловероятных природных явлений [5].

Многолетние сейсмические наблюдения показали, что ВО ЧАЭС расположен на территории повышенной смерче- и сейсмоактивности [6–11]. К тому же в работе [9] был выявлен механизм значительного усиления сейсмических низкочастотных колебаний, которые возникают в результате влияния грунтовых и гидрогеологических условий в районе промышленной площадки и ВО ЧАЭС. Существует также вероятность синхронного влияния смерча и землетрясения на частично осушенную чашу ВО ЧАЭС, способного содействовать образованию волны затопления его оградительной дамбы.

В работе [1], опубликованной еще в 1989 году, было показано, что вероятностью возникновения

смерча в пределах Чернобыльской зоны отчуждения равна $6 \cdot 10^{-3}$ 1/год. Аналогичные выводы также были получены и в работе [10] на основании анализа многочисленных данных, которые частично приведены в работах [12–16].

В настоящей работе в основу моделирования возможного затопления дамбы ВО ЧАЭС при синхронном воздействии на чашу водоема смерча и землетрясения положен гидродинамический метод, предложенный В. И. Скалозубовым [2, 17]. Ранее этот метод успешно применялся для моделирования рисков затопления промплощадки Запорожской АЭС в результате воздействия смерча на ее водоем-охладитель и на Каховское водохранилище.

Материалы, методы и эксперименты. В стратегии обеспечения абсолютной радиационно-экологической безопасности осушения ВО ЧАЭС на длительных масштабах времени необходимо обеспечить поддержание оптимальной высоты уровня поверхности экранирующей водной толщи в чаше водоема-охладителя. При этом особое внимание следует уделить изучению процессов возможного быстрого перераспределения концентраций радиоактивных загрязнений в системе «вода–донные отложения». Такие процессы возникают в результате интенсивного подъема и перемешивания с водой донных отложений в результате воздействия на водоем смерчей и землетрясений.

Зарубежный опыт по обеспечению долговременной экологической безопасности радиоактивных водоемов показывает, что эта задача решается путем создания условий и средств для быстрой смены уровня водной поверхности в чаше водоема.

© В. Н. Ващенко, И. Б. Кордуба, Е. А. Лоза, Ю. М. Кризская. 2017

Объем, глубина и качество водной толщ должны обеспечить полное экранирование радиоактивных загрязнений накопленных в чаше водоема. При этом корректирование соотношения высот ограждающей водоем дамбы и уровня воды в водоеме должно обеспечить невозможность затопления дамбы в результате воздействия на водоем смерчей и землетрясений.

Результаты исследований. Главные особенности используемого в настоящей работе метода связаны с усовершенствованием моделирования диссипации гидродинамики волны затопления и специфическими краевыми условиями затопления дамбы ВО ЧАЭС.

Основные положения модели затопления дамбы ВО ЧАЭС следующие:

1) формирование волны затопления в общем случае происходит в результате действия подъемной силы смерча и сейсмического толчка, а также сил внутренней диссипации и гравитации водяного столба;

2) форма волны затопления моделируется в виде цилиндра с площадью пересечения S_c и высотой $h + h_{no}$ (где h_{no} – уровень воды в ВО);

3) консервативно полагается, что максимальное влияние смерча над поверхностью ВО происходит вблизи оградительной дамбы;

4) условно допускается, что процесс формирования волны затопления протекает в два этапа:

Этап I – начальный этап общего влияния смерча и землетрясения на протяжении временного масштаба $t < \Delta t_3$;

Этап II – заключительный этап влияния смерча на сквозняке временного масштаба $t > \Delta t_3$.

5) Образование волны затопления полагается изотермическим, а скорость звука в воде значительно больше скорости изменения высоты волны затопления.

Гидродинамическая модель затопления дамбы ВО при общем влиянии смерча и землетрясения с учетом принятых допущений будет иметь вид:

$$H \frac{d^2 H}{dT^2} + (1 + \xi_r) \left(\frac{dH}{dT} \right)^2 + H = K_p, \quad (1)$$

при следующих начальных условиях:

$$H(T=0) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{dH}{dT}(T=0) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{d^2 H}{dT^2}(t=0) = K_3, \quad (4)$$

$$\frac{d^2 H}{dT^2}(0 < t \leq \Delta t_3) = \frac{d^2 H}{dT^2}(T) + K_3, \quad (5)$$

где

$$T = \frac{t}{t_M};$$

$$t_M = \begin{cases} \Delta t_3 & (t \leq \Delta t_3), \\ \sqrt{h_{d0} / g} & (t > \Delta t_3); \end{cases}$$

$$H = h / h_{d0};$$

$$K_p = \frac{\Delta P}{\rho g h_{d0}};$$

$$K_3 = \frac{a_3 \Delta t_3^2}{h_{d0}},$$

где t – текущее время формирования волны затопления; h_{d0} – начальная высота дамбы над поверхностью уровня ВО; g – гравитационное ускорение; Δt_3 – длительность толчков землетрясения; a_3 – отклик ускорения землетрясения на поверхности почвы ВО; $\xi_r = 0,2$ – приведенный коэффициент диссипации при формировании волны затопления в ВО.

Уравнение (1) при начальных условиях (2)–(5) является нелинейным дифференциальным уравнением 2-го порядка, которое не имеет аналитических решений. Поэтому решение выполнялось с помощью метода Рунге-Кутты с точностью $\pm 10\%$.

Исходя из главных результатов численного моделирования представленных на рис. 1 и 2, можно сделать следующие утверждения:

В случае влияния лишь одного землетрясения на почву чаши ВО ($K_p = 0$) предельные условия незатопления дамбы имеют следующий вид

$$K_3 = \frac{a_3 \Delta t_3^2}{h_{d0}} < 10^3. \quad (6)$$

При этом, в отличие от традиционных подходов, условия затопления зависят не только от откликов ускорения землетрясения на поверхности почвы чаши ВО ($K_3 \sim a_3$), но еще в большей мере от длительности сейсмических толчков ($K_3 \sim \Delta t_3^2$).

При минимальной интенсивности смерчей и (F1.0) и совместном влиянии землетрясения условия незатопления дамбы ВО имеет вид:

$$K_3 < 0,3 \cdot 10^3. \quad (7)$$

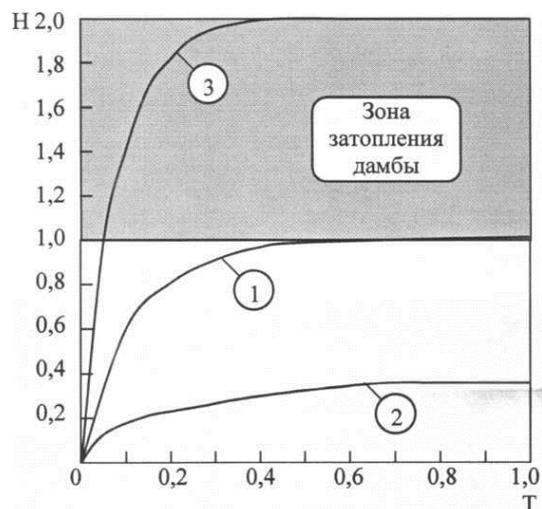


Рис. 1 – Динамика высоты волны в ВО под действием землетрясения ($K_p = 0$): 1 – $K_3 = 10^3$; 2 – $K_3 = 0,3 \cdot 10^3$; 3 – $K_3 = 3,0 \cdot 10^3$.

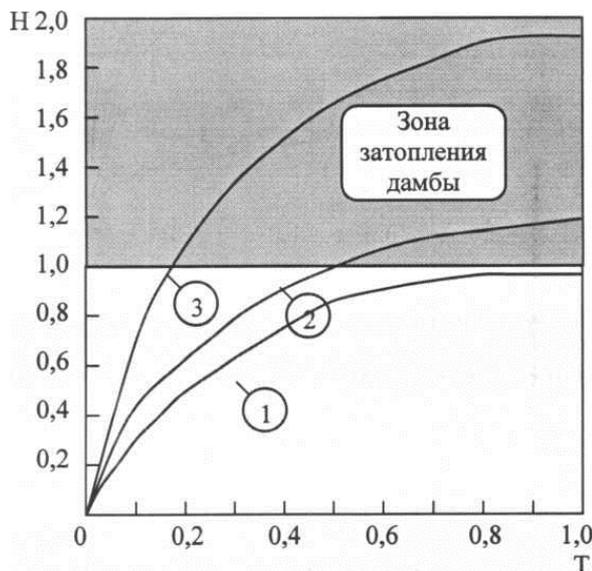


Рис. 2 – Динаміка висоти волни в ВО під совместним впливом смерча F 1.0 і землетрясення:
1 – $K_3 = 0$; 2 – $K_3 = 0,3 \cdot 10^3$; 3 – $K_3 = 10^3$.

Аналіз відомих досліджень і експериментальних даних, а також уроки аварії на АЕС Фукусима-Даїчі визначають необхідність додаткового вивчення питань щодо затоплення дамби водоема-охладителя Чорнобильської АЕС при загальному впливі (в загальному випадку) смерча і землетрясення, яке може призвести до катастрофічних екологічних наслідків.

Висновки

1. Аналіз результатів відомих досліджень і експериментальних даних, а також уроки аварії на АЕС Фукусима-Даїчі в Японії визначили необхідність додаткового вивчення питання щодо затоплення дамби водоема-охладителя Чорнобильської АЕС при загальному впливі (в загальному випадку) смерча і землетрясення, яке може призвести до небажаних екологічних наслідків.

2. Результати розрахункового моделювання показують, що консервативне затоплення дамби при проектному рівні води в ВО ЧАЭС, в результаті впливу на нього смерча 1-го (F 1.0) класу інтенсивності, не виникає.

3. В результаті впливу смерчів 2-го (F 2.0) і 3-го (F 3.0) класів інтенсивності (і більше) відбувається затоплення дамби ВО ЧАЭС уже на початкових етапах формування хвилі від смерча ($T < 0,3$).

4. В результаті зняття з експлуатації ВО ЧАЭС шляхом його поступової сушки за рахунок інфільтрації води крізь огорожувальну дамбу, забезпечити зниження проектного рівня води приблизно до 6–7 м, тобто до рівня води в річці Прип'ять.

При таких умовах консервативне затоплення дамби від смерчів класу F 3.0 (і нижче класом), згідно отриманих результатів, не виникає.

5. Визначені граничні умови незатоплення дамби ВО при загальному впливі смерчів і землетрясення показують, що в разі впливу тільки землетрясення на ВО ($K_p = 0$) граничні умови незатоплення дамби мають наступний вигляд:

$$K_3 = a_3 \Delta t_3^2 / h_{d0} < 10^3$$

При цьому, в порівнянні з традиційними підходами, умови затоплення залежать від відгуків прискорення на поверхні ґрунту ВО ($K_3 \sim a_3$) і, в ще більшій мірі, від тривалості сейсмічних толчоків ($K_3 \sim \Delta t_3^2$).

6. При мінімальній інтенсивності смерчів класу F 1.0 і при умові синхронного виникнення землетрясення умова незатоплення дамби ВО має наступний вигляд: $K_3 < 0,3 \cdot 10^3$.

7. Ввиду того, що Чорнобильська зона відчуження відноситься до 3-го класу інтенсивності смерчів, слід зробити однозначний висновок про необхідність підтримання рівня води в чаші ВО ЧАЭС з урахуванням умов можливого затоплення її огорожувальною дамбою.

Список літератури:

1. Брюхань, Ф. Ф. Смерчопасні зони в СРСР і розміщення атомних станцій [Текст] / Ф. Ф. Брюхань, М. Е. Ляхов, В. Н. Погребняк // Изв. АН СРСР. Сер.: Географія. – 1989. – № 1. – С. 40–48.
2. Скалозубов, В. І. Комплекс методів переоцінки безпеки атомної енергетики України з урахуванням уроків екологічних катастроф в Чорнобилі та Фукусимі [Текст] / В. І. Скалозубов, Г. А. Оборський, І. Л. Козлов і др. – Одеса: Астропринт, 2013. – 244 с.
3. Громов, Г. В. Результати експертної оцінки стресс-тестів діючих енергоблоків АЕС України з урахуванням аварії на АЕС «Фукусима-1» в Японії [Текст] / Г. В. Громов, А. М. Дыбач, О. В. Зелений, В. В. Інюшев і др. // Ядерна та радіаційна безпека. – 2012. – № 1 (53). – С. 3–9.
4. IAEA International Fact Finding Expert Mission Of The Fukushima Daiichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami: IAEA Mission Report [Text]. – IAEA, 2011. – 160 p.
5. Постанова Колегії Держатомрегулювання № 2 від 19 травня 2011 року [Електронний ресурс] // Державна інспекція ядерного регулювання України. – Режим доступу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/uk/publish/article/155446;jsessionid=2EFF7086EE5419DD76E7B8F86C1DF563>
6. Ващенко, В. М. Аналіз смерчонебезпеки для вдосконалення технології екологічно безпечної виведення з експлуатації водийми-охолоджувача Чорнобильської АЕС [Текст] / В. М. Ващенко, І. Б. Кордуба // Екологічна безпека. – 2016. – Вип. 2. – С. 128–135.
7. Волеваха, В. А. Шквали і смерчі на Україні в 1984–1985 гг. [Текст] / В. А. Волеваха, Н. Ф. Токарь // Труды Украинского регионального научно-исследовательского института. – 1987. – Вип. 225. – С. 46–55.
8. Ромов, А. І. Смерчі на Україні 30 мая 1985 г. [Текст] / А. І. Ромов, Н. С. Шишкин, Р. П. Сосновская, О. М. Железняк // Метеорологія і гідрологія. – 1987. – № 2. – С. 27–36.
9. Страхов, В. Н. Сейсмічні явища в районі Чорнобильської АЕС / В. Н. Страхов, В. І. Старостенко, О. М. Харитонов і др. // Геофізический журнал. – 1997. – Т. 19, № 3. – С. 3–15.
10. Старостенко, В. І. Сейсмічні дослідження для безпеки ЧАЭС [Електронний ресурс] / В. І. Старостенко та ін. // Національна академія наук України – Чорнобілю. – 2006. – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/sites/default/files/msd/0604sta.pdf>
11. Кензера, О. В. Сейсмічна небезпека і захист від землетрусів [Текст] / О. В. Кензера // Вісник НАН України. – 2015. – № 2. – С. 44–57.

12. Скалозубов, В. И. Повышение экологической безопасности атомной энергетики Украины в постфокусимский период [Текст] / В. И. Скалозубов, Т. В. Габлая; ред. В. И. Скалозубов. – Киев, 2013. – 120 с.
13. Пояснительная записка к Техническому решению «Про визначення критичних подій, які мають бути розглянуті при розробці проектної документації на виведення з експлуатації водоймища-охолоджувача Чорнобильської АЕС і вимог щодо радіаційних критеріїв кінцевого стану території» [Текст]. – 2012.
14. Талерко, Н. Н. Прогнозная оценка трансграничного переноса радионуклидов вследствие прохождения смерча над водоемом-охладителем ЧАЭС [Текст] / Н. Н. Талерко, Е. К. Гаргер, А. Г. Кузьменко // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2013. – Вип. 20.
15. Каталог смерчей, которые наблюдались на территории Украины в 1987–2003 гг [Текст]. – ВМП Укр ГМЦ.
16. Снитковский, А. И. Смерчи на территории СССР [Текст] / А. И. Снитковский // Метеорология и гидрология. – 1987. – № 9. – С. 12–25.
17. Наказ Держбуду України № 64 від 21.10.2002 «Основні нормативні вимоги та розрахункові характеристики смерчів майданчика Чорнобильської АЕС» [Текст]. – Державний Комітет України з Будівництва та Архітектури, 2002.

Bibliography (transliterated):

1. Briukhan, F. F., Liakhov, M. E., Pogriebniak, V. N. (1989). Smierchieopasnyie zony v SSSR i razmieshchienie atomnykh stantsiy [Tornado hazard areas of USSR and location of nuclear powerplants]. Bulletin of Academy of Sciences of USSR. Series: Geography, 1, 40–48.
2. Skalozubov, V. I., Oborskiy, G. A., Kozlov, I. L. et. al. (2013). Kompleks mietodov pierieotsenki bieзопасnosti atomnoy energietiki Ukrainy s uchietom urokov ekologichieskikh katastrof v Chiernobyle i Fukusimie [Method complex for re-estimate of Ukraine nuclear power safety considering lessons of Chernobyl and Fukushima nuclear disasters]. Odessa: Astroprint, 244.
3. Gromov, G. V., Dybach, A. M., Zielienny, O. V., Inushiev, V. V. et. al. (2012). Riezultaty ekspiertnoy otsienki striess-tiestov deystvuiushchikh energoblokov AES Ukrainy s uchietom urokov avarii na AES “Fukusima-1” v Yaponii [Result of expert estimate of stress-tests of Ukraine NPP power units operation considering lessons of NPP “Fukushima-1” emergency in Japan]. Nuclear and radiation safety, 1 (53), 3–9.
4. IAEA International Fact Finding Expert Mission Of The Fukushima Daiichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami: IAEA Mission Report (2011). IAEA, 160.
5. Postanova Kolehii Derzhatomrehulivannia No. 2 vid 19 travnia 2011 roku (2011). Derzhavna inspektsiia yadernoho rehulivannia Ukrainy. Available at: <http://www.sncr.gov.ua/nuclear/uk/publish/article/155446;jsessionid=2EFF7086EE5419DD76E7B8F86C1DF563>
6. Vashchenko, V. M., Korduba, I. B. (2016). Analiz smerchonebezpeky dlia vdoskonalennia tekhnologii ekolohichno bezpechnoho vyvedennia z ekspluatatsii vodoymiща-охолоджувача Чорнобильської АЕС [Analysis of tornado hazard for improvement of environmentally safe decommissioning technology of coolant pool of Chernobyl NPP]. Ecological Safety, 2, 128–135.
7. Volievakha, V. A., Tokar, N. F. (1987). Shkvaly i smierchi na Ukrainie v 1984–1985 gg [Storms and tornadoes in Ukraine in 1984–1985]. Proceedings of Ukraine Regional Science and Research Institute, 225, 46–55.
8. Romov, A. I., Shishkin, N. S., Sosnovskaia, R. P., Zheliezniak, O. M. (1987). Smierchi na Ukraine 30 maia 1985 g [Tornadoes in Ukraine 30 May 1985]. Meteorology and Hydrology, 2, 27–36.
9. Strakhov, V. N., Starostienko, V. I., Kharitonov, O. M. et. al. (1997). Seysmicheskie yavleniya v rayone Chernobyl'skoy AES [Seismic events in Chernobyl NPP region]. Geophysical journal, 19 (3), 3–15.
10. Starostenko, V. I. et. al. (2006). Seysmologichni doslidzhennia dlia bezpeky ChAES [Seismic research for Chernobyl NPP safety]. Natsionalna akademiya nauk Ukrainy – Chornobyliu. Available at: <http://nbuv.gov.ua/sites/default/files/msd/0604sta.pdf>
11. Kienzera, O. V. (2015). Seysmichna nebezpeka i zakhyst vid zemletrusiv [Seismic safety and protection from earthquakes]. Bulletin of National Academy of Sciences of Ukraine, 2, 44–57.
12. Skalozubov, V. I., Gablaya, T. V.; Skalozubov, V. I. (Ed.) (2013). Povyshenie ekologicheskoy bezопасnosti atomnoy energetiki Ukrainy v postfokusimskiy period. Kyiv, 120.
13. Poiasnitelnaya zapiska k Tekhnicheskomu rieshieniyu “Pro vyznachennia krytychnykh podiy, yaki maiut buty rozglianuti pry rozrobtsi proektnoy dokumentatsiy na vyvedennia z ekspluatatsiy vodoymyshcha-okholodzhuvacha Chornobyl'skoy AES i vymog schodo radiatsiynykh kryteryiv kintsevogo stanu teritoryi” [Explanatory note on Technical decision “On determination of critical events that must be considered during project documents development for decommissioning of Chernobyl NPP coolant pool and requirements for radiation criterion of the final area state”] (2012).
14. Talierko, N. N., Gargier, Ye. K., Kuzmienko, A. G. (2013). Prognoznaya otsienka transgranichnogo pierienosa radionuklidov vsliedstviye prokhozhdieniya smiercha nat vodoiemom-okhladieliem ChAES [Forecast of transboundary transport of radionuclides due to a tornado over Chernobyl NPP coolant pool]. Problems of Nuclear Powerplants safety and Chernobyl, 20.
15. Katalog smierchey, kotorye nabliudalis na teritoryi Ukrainy v 1987–2003. [Catalogue of tornadoes observed in Ukraine in 1987–2003]. VMP Ukr GMTs.
16. Snitkovskiy, A. I. (1987). Smierchi na teritoryi SSSR [Tornadoes in USSR territory]. Meteorology and Hydrology, 9, 12–25.
17. Nakaz Derzhbudu Ukrainy No. 64 vid 21.10.2002 “Osnovni normatyvni vymogy ta rozrakhunkovi kharakterystyky smerchiv maydanchyka Chornobyl'skoyi AES” [The Decree of Ministry for Regional Development, Building and Housing of Ukraine No. 64 dated 21.10.2002 “Main regulations and estimate paramters of tornadoes for Chernobyl NPP site”] (2002). Derzhavnyi Komitet Ukrainy z Budivnytstva ta Arkhitektury.

Поступила (received) 18.09.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Моделирование процесса синхронного влияния смерча и землетрясения на водоем-охладитель Чернобыльской АЭС в процессе его осушения/ Ващенко В. Н., Кордуба И. Б., Лоза Е. А., Кризская Ю. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 33(1255). – С. 108–112.– Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459.

Моделирование процесса синхронного влияния смерча и землетрясения на водоем-охладитель Чернобыльской АЭС в процессе его осушения/ Ващенко В. М., Кордуба И. Б., Лоза Е. А., Кризская Ю. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 33(1255). – С. 108–112.– Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459.

Modeling of synchronous tornado and earthquake impact at Chernobyl NPP coolant pool during its drying/ Vashchenko V. M., Korduba I. B., Loza Ye. A., Kryzskaya Yu. M. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 33 (1255). – P.108–112. – Bibliogr.:17. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ващенко Володимир Миколайович – доктор фізико-математичних наук, професор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, м. Київ, Україна, 03035.

Ващенко Владимир Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, ул. Митрополита Василия Липковского, 35, корпус 2, г. Киев, Украина, 03035.

Vashchenko Volodymyr Mykolayovych – Dr. of Sci., professor, State Ecological Academy of Post-Graduate Education and Management, V.Lypkivskogo str., 35, bldg.2, Kyiv, Ukraine, 03035.

Кордуба Ирина Богданівна – аспірант, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, м. Київ, Україна, 03035.

Кордуба Ирина Богдановна – аспирант, Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, ул. Митрополита Василия Липковского, 35, корпус 2, г. Киев, Украина, 03035.

Korduba Irina Bogdanivna – graduate student, State Ecological Academy of Post-Graduate Education and Management, V.Lypkivskogo str., 35, bldg.2, Kyiv, Ukraine, 03035.

Лоза Євген Анатолійович – доцент кафедри, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, м. Київ, Україна, 03035.

Лоза Евгений Анатольевич – доцент кафедры, Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, ул. Митрополита Василия Липковского, 35, корпус 2, г. Киев, Украина, 03035.

Loza Yevhen Anatoliyovych – assistant professor, State Ecological Academy of Post-Graduate Education and Management, V.Lypkivskogo str., 35, bldg.2, Kyiv, Ukraine, 03035.

Кризська Юлія Михайлівна – аспірант, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, м. Київ, Україна, 03035.

Kryzskaya Yuliya Михайловна – аспирант, Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, ул. Митрополита Василия Липковского, 35, корпус 2, г. Киев, Украина, 03035.

Kryzska Yuliia Mykhaylivna – graduate student, State Ecological Academy of Post-Graduate Education and Management, V.Lypkivskogo str., 35, bldg.2, Kyiv, Ukraine, 03035.

УДК 621.375:621.396.62

Т. Д. ГУЦОЛ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРОВОТОКА ЖИВОТНЫХ ПРИ НАЛИЧИИ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ

Рассмотрена теоретическая модель кровотока в крупных кровеносных сосудах животных, учитывающая периодические пульсации давления в них, связанные с работой сердца, а также изменения просвета в них. Кровеносные сосуды представлены в виде однородных цилиндрических каналов с жесткими стенками, а кровь – в виде ньютоновской жидкости. Решение уравнений Навье-Стокса проведено в предположении, что пульсации давления имеют форму прямоугольных импульсов.

Ключевые слова: кровоток, кровеносный сосуд, переменное давление, составляющая скорости, уравнения Навье-Стокса, дифференциальные уравнения, ряд Фурье.

Розглянуто теоретичну модель течії крові у великих кровеносних судинах тварин, що враховує періодичні пульсації тиску в них, пов'язані з роботою серця, а також зміни просвіту в них. Кровеносні судини представлені у вигляді однорідних циліндричних каналів з жорсткими стінками, а кров – у вигляді ньютонівської рідини. Рішення рівнянь Нав'є-Стокса проведено в припущенні, що пульсації тиску мають форму прямокутних імпульсів.

Ключові слова: течія крові, кровеносна судина, змінний тиск, складова швидкості, рівняння Нав'є-Стокса, диференціальні рівняння, ряд Фур'є.

The subject of this article is a theoretical model of blood flow in large blood vessels of animals. Periodic pulsations of pressure, associated with the work of the heart, as well as changes in the lumen in the vessels are taken into account. Blood vessels are represented as uniform cylindrical channels with rigid walls, and blood – in the form of a Newtonian fluid. The solution of the Navier-Stokes equations is carried out on the assumption that pressure pulsations have the form of rectangular pulses. A longitudinal component of the blood flow velocity is obtained, which reflect the state of both the vessel and the possible deviations in the periodicity of pulsations.

A theoretical analysis shows possibility of the appearance of whole spectrum speeds in the pulsating blood stream. Accordingly, depending on the parameters of vessel such as diameter, presence of obstacles, blood clots, inflamed areas, one or another speeds and consequently, different levels of electromagnetic radiation will prevail. The results were used for realization of external thermal mapping of organism with the purpose of exposure of diseases and also research of the phenomena, related to affecting of external periodically changing factors, for example, electromagnetic fields on the bloodstream.

Keywords: blood flow, blood vessel, variable pressure, velocity component, Navier-Stokes equations, differential equations, Fourier series.

Введение. Вопросы динамики крови весьма существенны при составлении физиологического портрета животного. Изменения в кровотоке сопровождаются практически любые патологии организма. Это

обусловило появление достаточного количества работ, посвященных данной проблеме. Однако их существенным недостатком является рассмотрение лишь

© Т. Д. Гуцол. 2017