

## ОБ УЧЕТЕ В МОДЕЛЯХ КАВИТАЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ЭТАПОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПУЗЫРЬКА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ КЛАПАНА

*Тихомиров В.А., Шлыков К.С., Капанова А.Б.*

*Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль*

**Ключевые слова:** энергетический метод, моделирование, явление кавитации, ранняя стадия, пузырек.

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы, относящиеся к реализации энергетического метода при моделировании явления гидродинамической кавитации на ранней стадии образования системы пузырьков в проточной части регулирующих устройств. При этом особое внимание в работе уделяется возможности учета основных предварительных этапов формирования кавитационной полости.

## ON ACCOUNTING FOR PRELIMINARY STAGES OF BUBBLE FORMATION IN THE FLOW PART OF THE VALVE IN CAVITATION MODELS

*Tikhomirov V.A., Shlykov K.S., Kapranova A.B.*

*Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl*

**Keywords:** energy method, modeling, cavitation phenomenon, early stage, bubble.

**Abstract.** The article discusses issues related to the implementation of the energy method in modeling the phenomenon of hydrodynamic cavitation at an early stage of the formation of a system of bubbles in the flow part of control devices. In this case, special attention is paid to the possibility of taking into account the main preliminary stages of the formation of a cavitation cavity.

Применение регулирующей арматуры в трубопроводах сопровождается явлением кавитации, последствия которой могут иметь агрессивный характер по отношению к рабочим поверхностям данного оборудования, приводя их в негодность. Кроме того, создаваемые шумовые эффекты и вибрации способны создать условия для работы указанной арматуры вне допустимых экологических норм эксплуатации. Однако избавиться от явления кавитации, сохраняя назначение данного регулирующего оборудования, не представляется возможным вследствие противоречия между задачами: регулирования потоками жидкости и предотвращения образования кавитационных пузырьков. Решение первой задачи предполагает снижение давления при течении жидкостной среды в клапане, а решение второй – исключение условий указанного снижения.

Таким образом, особый интерес при проектировании регулирующих устройств вызывает проблема предотвращения роста интенсивности образования кавитационных полостей в их проточных областях, т.е. еще на самой ранней стадии развития данного гидродинамического эффекта. Решение данной проблемы, как правило, связано с обеспечением дросселирования потоков рабочей среды, например, при использовании перфорированных конструктивных элементов регулирующего клапана. Проведенный анализ литературных источников показал преимущества стохастического подхода [1] к моделированию

в сравнении с детерминированным и комбинированным, в первую очередь, вследствие возможности выявить закономерности распределения плотности формируемых кавитационных полостей от основных показателей рассматриваемого процесса. При этом наиболее целесообразным представляется энергетический метод [1], с одной стороны, учитывающий вероятностный характер процесса образования указанных полостей, а, с другой стороны, позволяющий установить аналитическую связь между законом распределения числа пузырей по заданному признаку и конструктивно-режимными параметрами устройства.

Условно разбивая случайный процесс образования энергетически закрытой макросистемы кавитационных пузырей на предварительные этапы, вводятся энергетические характеристики для каждого из них в виде слагаемых при расчете энергии стохастического движения одиночного пузырька. В частности, эти этапы предполагают: разрыв потока с образованием полости, приобретение ею сферической формы, наличие вихревых потоков для системы газ-пар после заполнения сферы, взаимодействие последней с окружающей жидкостью и движение вместе с ней. Применяя приближение марковского, непрерывного, стационарного процесса в терминах Орнштейна-Уленбека [2], построение описания образования данной кавитационной макросистемы может быть выполнено в зависимости от различных фазовых переменных. Например, при выборе числа таких переменных равным двум, возможно использование приведенного радиуса одиночного пузырька, принимаемого сферическим, и скорости движения указанной сферы [3-5]. При увеличении числа фазовых переменных до трех, например, в ходе проектирования прямооточных клапанов, дополнительно учитывается степень открытия дросселирующих отверстий его сепаратора [6]. Построенная указанным способом энергия одиночного пузырька, как функция от двух [4] или трех [6] фазовых переменных, применяется в законе экспоненциального убывания числа пузырей в выделенном элементе фазового объема. Введение в степени данной экспоненциальной функции энергетического параметра, соответствующего энергии движения пузыря в момент стохастизации макросистемы, требует составления уравнения энергетического баланса в указанный момент времени. Итак, предлагаемые способы оценки среднего по ансамблю размера и площади поверхности пузырька [7] при построении киберфизической системы для основных характеристик процесса образования указанной макросистемы [8] используются при формировании инженерной методики расчета конструктивных параметров прямооточного клапана [9].

#### Список литературы

1. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса: Новый подход к статистической теории открытых систем. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 328 с.
2. Kapranova A.B., Lebedev A.E., Solopov, S.A., Melzer A.M. The application process of the Ornstein-Ulenbek to the formation of cavitation bubbles // Czasopismo techniczne. Mechanika. – Krakov, Poland, 2016. – V. 113, № 2. – P.139-144. (DOI) 10.4467/2353737XCT.16.101.5500.
3. Капранова А.Б., Лебедев, А.Е., Мельцер, А.М., Неклюдов, С.В. Стохастическая модель процесса образования кавитационных пузырей в проточной части регулирующего клапана // Вестник ИГЭУ. – № 4. – 2016. – С. 24-29. (DOI) 10.17588/2072-2672.2016.4.024-029

4. Determination of the average parameters of cavitation bubbles in the flowing part of the control valves / A. Kapranova, A. Lebedev, A. Melzer, S. Neklyudov // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET), 2018. – V.9(3). – P. 25–31; <http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=3>
5. О влиянии пропускной способности осевого клапана на параметры стохастической модели кавитации / А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев, А.М. Мельцер, С.В. Неклюдов // РХЖ (Журнал хим. общества им. Д. И. Менделеева). 2018. – Т. 62, № 4. – С. 51-53.
6. Investigation of the energy of the stochastic motion of cavitation bubbles in the separator of the axial valve, depending on the degree of its opening / A. Kapranova, S. Neklyudov, A. Lebedev, A. Melzer // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET), 2018. – V. 9(8). – P. 160–166; <http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=8>.
7. The ensemble-averaged characteristics of the bubble system during cavitation in the separator / A.B. Kapranova, A.E. Lebedev, S.V. Neklyudov, A.M. Melzer // E3s Web of Conference (E3S Web Conf. International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2019)) – 2019. – V. 140, 06005. Published online 18 December 2019. (DOI) 10.1051/e3sconf/201914006005.
8. Kapranova A.B., Lebedev A.E., Melzer A.M., Neklyudov S.V. About Formation of Elements of a Cyber-Physical System for Efficient Throttling of Fluid in an Axial Valve // In monograph: Cyber-Physical Systems: Advances in Design & Modelling. Studies in Systems, Decision and Control / eds. A. Kravets, A. Bolshakov, M. Shcherbakov. V. 259. Springer, Cham, 2020. P. 109-119. (DOI) 10.1007/978-3-030-32579-4\_9.
9. Engineering Method for Calculating of an Axial Valve Separator With an External Location of the Locking Part / A.B. Kapranova, A.E. Lebedev, S.V. Neklyudov, A.M. Melzer // Frontiers in Energy Research: Process and Energy Systems. March 2020, Vol. 8, article 32 (pp. 1-17). (DOI) 10.3389/fenrg.2020.00032.

#### Сведения об авторах:

*Тихомиров Вячеслав Александрович* – студент ЯГТУ, г. Ярославль;

*Шлыков Кирилл Сергеевич* – студент ЯГТУ, г. Ярославль;

*Капранова Анна Борисовна* – д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая механика и сопротивление материалов», ЯГТУ, г. Ярославль.