

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАВИТАЦИОННО ТЕЧЕНИЕ В СТЕСНЯВАЩО-
РАЗШИРЯВАЩА СЕ ДЮЗА****Георги Панчев¹, Христо Христов¹, Калоян Дачов²**¹Технически университет – Габрово²М+С Хидравлик**INVESTIGATION OF THE CAVITATING FLOW IN CONVERGING-
DIVERGING NOZZLE****Georgi Panchev¹, Hristo Hristov¹, Kaloyan Dachov²**¹Technical University of Gabrovo²M+S Hydraulic**Abstract**

In the present article are discussed cavitation phenomena occurring in converging-diverging nozzle (Venturi tube). A closed test circuit yeue used to control both the flow rate and the static pressure level. The loss ratio is determined for different sigma numbers, resulting in a complete "static" characterization of the nozzle. Visualizations of the development of cavitation propagation have been acquired and correspond to the evolution of the loss ratio. Three cavitation regimes are described: partial cavitation, fully developed cavitation, supervitation.

Keywords Venturi tube; Cavitation; Hydraulics machinery**ВЪВЕДЕНИЕ**

Кавитация настъпва в течности, когато локалната стойност на абсолютното налягане достигне така нареченото налягане на насищане на парите. Обемите, изпълнени с пари, могат да имат формата на мехурчета, листа, облаци, кавитационни вихри. Появата и структурата на кавитацията силно зависят от хидродинамичните характеристики на течението (например нивото на статичното налягане) и геометрията на флуидния поток. Развитите кавитационни структури блокират движението на течността, което води до значително увеличаване на хидравличните загуби. Наличието на съответна кавитационна фаза, която претърпява цикли на кондензация /изпарение, влияе на динамиката на течението. Наличието на кавитация е ограничаващ фактор за работата на всички хидравлични машини и устройства, напр. водни турбини, турбо и обемни помпи, клапани и др. От друга страна, кавитацията може да бъде използвана за подо-

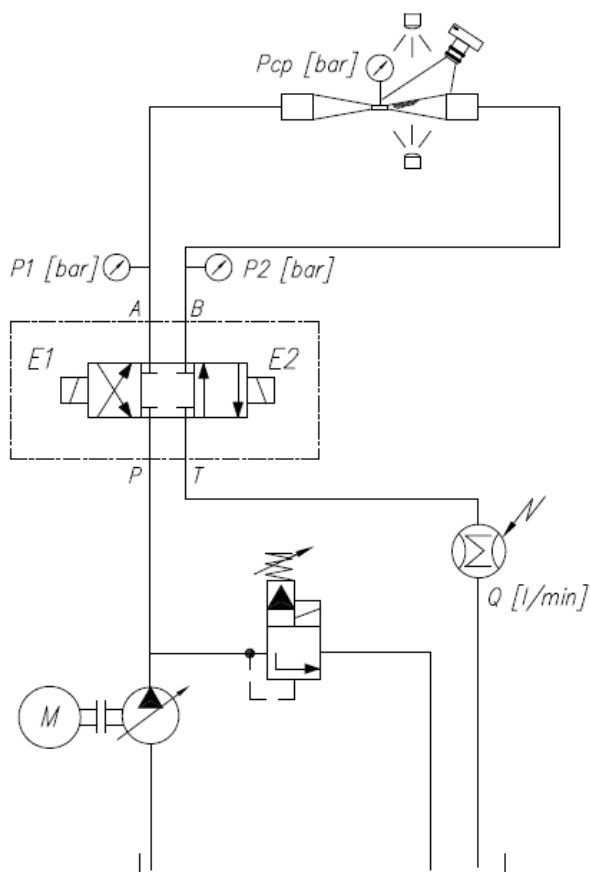
браване на химичните реакции (ултразвукова химия) или процесите на почистване (пречистване).

Напълно развитата кавитация може да доведе до така наречената супервитаация, когато каверната разширява размерите си и се разпространява по дължината на течението. Суперкавитацията е добре позната в корабните витла или около подводни снаряди (торпедо) и превозни средства. Феноменът на супервитаацията се изследва най-често при случаи на външно хидродинамично обтичане, когато обемът, запълнен с пари, се разпада (разрушава) зад тялото, потопено в бързо течащо флуидно течение. Порядко се наблюдава супервитаация в тръби.

ИЗЛОЖЕНИЕ

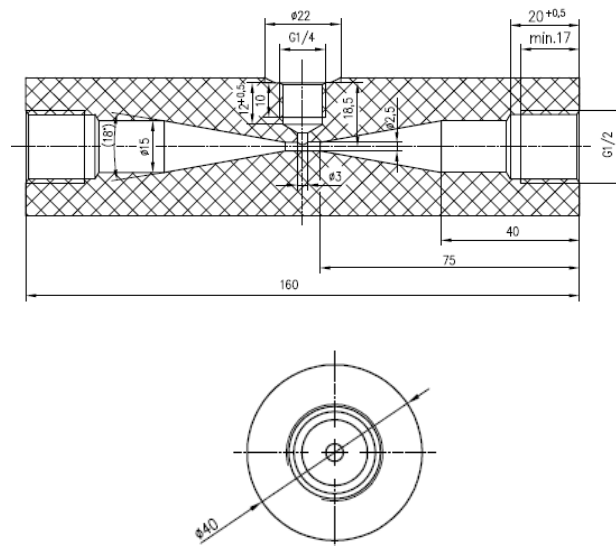
Настоящият изследване се фокусира върху възникването и охарактеризирането на кавитация в стесняващо-разширяваща се (CD) дюза (известна още като тръба на Venturi), през която протича хидравлично

масло. Това вероятно е най-опростеното устройство за наблюдение на хидродинамичната кавитация. И все пак то дава възможност да се изследва кавитацията в нейната пълна сложност: възникване на кавитация, хидравлични загуби предизвикани от наличие на кавитация, кавитация в отделни гранични слоеве, преход от листовка към облачна кавитация, пулсации на налягането, предизвикани от кавитационен разпад, феномен на супервивация и т.н.



Фиг.1. Схема на хидравличната система

Някои изследвания на Venturi тръби, насочени специално към ерозионни тестове, са изложени в [1÷3]. Вентуриевы тръби се прилагат също и в хидравличните кавитационни тунели за изследване на качеството на водата, т.е. съдържанието на примесни частици [4]. Стесняващо-разширяващата се дюза също се превръща в популярен тестов случай за разработване на кавитационни модели, включени в софтуери за CFD [5÷6] или за визуализиране на модели на кавитация чрез неразрушаващи техники [7]. Тези експерименти обаче се основават на разглеждането на водни кавитационни течения.



Фиг.2. Чертеж на CD дюза

На Фиг.1 е представена схемата на експерименталната уредба, чрез която са получени резултатите в настоящата публикация. Системата представлява затворен контур през който циркулира хидравлично масло чието налягане и дебит се осигурява от хидравлична помпа ХЗП30А32х239 на фирма Carponi. Количеството дебит постъпващо в дюзата се измерва чрез дебитомер HySense® QG 110 (0.005...300 l/min) на Hydrotechnik GmbH. Налягането на входа и на изхода от дюзата се измерва с два броя сензори тип HySense® PR 280 (0 ÷ 400 bar), а налягането в най-тесното сечение на дюзата се измерва чрез сензор тип HySense® PR 101 (-1 ÷ 600 bar) на Hydrotechnik GmbH. Дюзата е изработена на CNC машина от плътен прокат на PMMA (полиметилметакрилат), за да се осигури визуализация на потока.

1. Измервания

Кавитационното число обикновено се използва за характеризиране на състоянието на кавитационното течение. Определението за число на кавитацията, базирано на налягането и скоростта на входа на дюзата за CD, се използва в тази статия:

$$\sigma = \frac{p - p_v(T)}{\frac{1}{2} \rho C_0^2} \quad (1)$$

където налягането на насищане на парите зависи от температурата на маслото според модифицираното уравнение Clausius-Clapeyron.

Алтернативно се прилага и друго определение, което често се използва при изследване на кавитация в клапани [8, 9]:

$$z = \frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_V} \quad (2)$$

Алтернативно е използвана реципрочната стойност на z , която е съвместима с дефиницията на индекса на кавитация с [10, 9].

$$z^{-1} = \frac{1}{z} = \frac{p_1 - p_V}{p_1 - p_2} \quad (3)$$

Ефектът на кавитацията върху дисипативната енергия се изследва, като се използва коефициента на загубите на дюзата за CD:

$$\zeta = \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2} \rho C_0^2} \quad (4)$$

Алтернативно се прилага и друг израз за хидравличните загуби, който се използва при проектирането и изпитването на клапани - коефициент на дебит K_V :

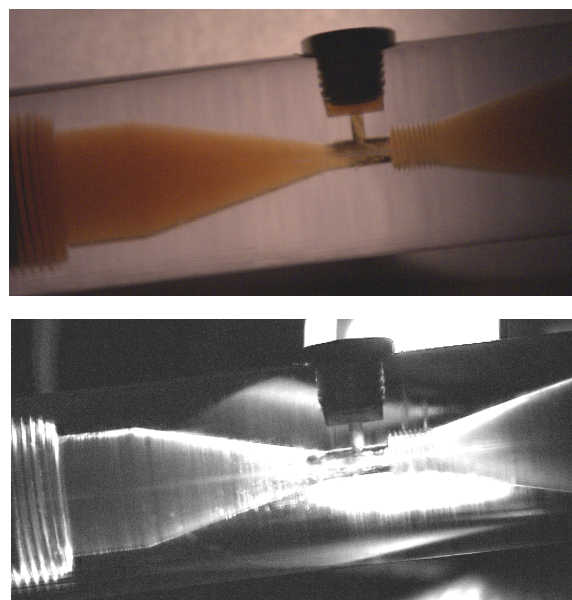
$$K_V = 36000 \cdot Q \sqrt{\frac{\rho}{p_1 - p_2}} \quad (5)$$

Целта на експериментална проверка на теоретично получените резултати за охарактеризиране на кавитацията. Теоретично определените кавитационни числа се сравняват с данните от експеримент.

Експериментът се провежда в изпитвателната лаборатория на фирма М+С Хидравлик в гр. Казанлък. Снимките за визуализацията са направени с високоскоростна камера PHANTOM MIRO LAB310.

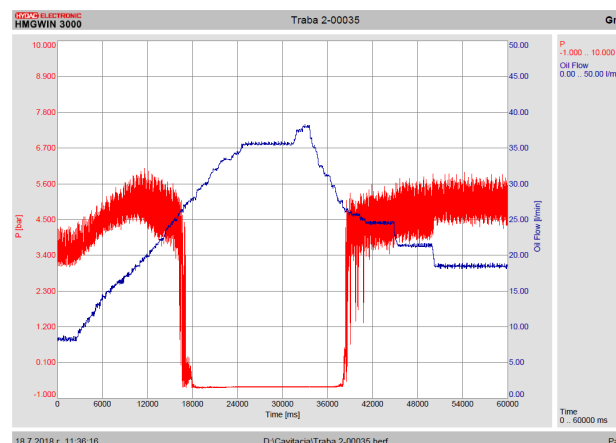
На фиг. 3 са показани снимки на развито кавитационно течение, получено при експеримента. Наблюдават се характерните кавитационни вихри и нарушаване цялостта на течението. На фигурата, която изобразява точки на визуална кавитация показва относително добро съгласие между всички набори от измервания. Подобно поведение може да се покаже за точки, определящи прехода от частична кавитация до напълно развита кавитация. Трябва да се отбележи, че повторемостта на кавитационните експерименти е много проблематична, поради

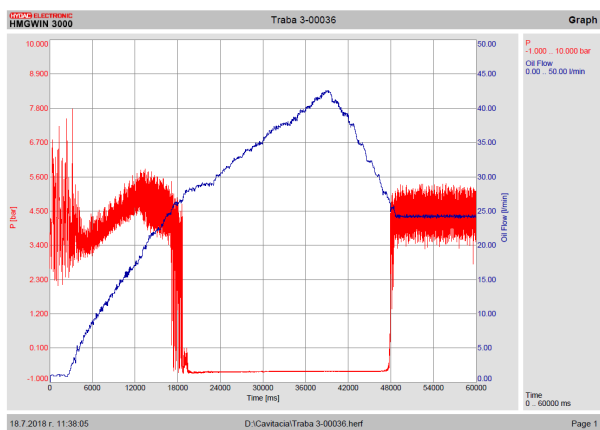
променящите се параметри на течността (брой ядра, съдържание на газ, чистота). Диференцирането между режимите също е изложено на грешка при наблюдението и тълкуването на снимките. Бъдещите изследвания ще се съсредоточат върху дефинирането на режимите въз основа на амплитудата на пулсациите на налягането.



Фиг. 3. Снимка на кавитационен процес в CD дюза

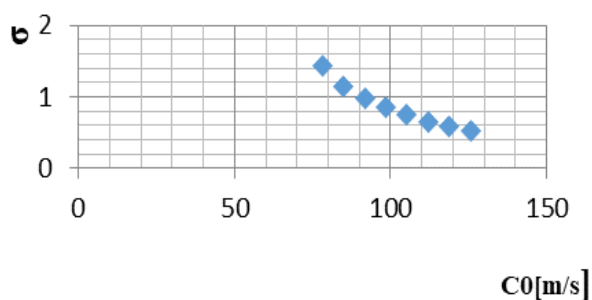
На фиг. 4 са показани изменението на дебита и налягането в тясната част на дюзата, където се наблюдава развитото кавитационно течение. Резултатите са записани с автоматизирана система за записване и обработка на данните в реално време – HYDAC HMGWIN 3000, като се използват сензори за дебит и налягане. Направени са серия от експерименти при промяна на подавания дебит.





Фиг. 4. Изменение на дебита и налягането при кавитационен процес в CD дюза

Определените кавитационни числа по уравнение (1) според данните от проведеня експеримент са показани на фиг. 5. Началото на кавитационното течение се наблюдава при числа близки до 1, а развитото кавитационно течение – при 0.5 – 0.65.



Фиг. 4. Изменение на кавитационното число в CD дюза

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Експерименталните изследвания потвърждават необратимите енергийни трансформации в CD дюза, които могат да се корелират с развито кавитационно течение. Частичния кавитационен режим се визуализира с бледи разкъсани кавитационни вихри. Напълно развития кавитационен режим се характеризира с постоянна нарастващ шум и вибрации. Предполага се, че ако се достигне суперкавитационен режим той ще е относително стабилен и с намаляване на шума и вибрациите. Това ще е обект на последващи изследвания.

REFERENCE

- [1] R.T. Knapp, J.W. Daily, F.G. Hammitt, Cavitation McGraw-Hill, 1970.
- [2] Brenen, C.E., Cavitation and Bubble Dynamics. Oxford University Press, 1995.
- [3] Franc, J. P., Michel, J.M., Fundamentals of Cavitation. Kluwer Academic Publishers, 2004
- [4] Franc, J.P., Educational Physics and Control of Cavitation RTO-EN-AVT-143 2006.
- [5] Konstantinov, S.Y., Tselishev, D.V., Tselishev, V.A., Numerical Cavitation Model for Simulation of Mass Flow Stabilization Effect in ANSYS CFX, Modern Applied Science; Vol. 9, No. 4; 2015.
- [6] Tomov, P., Khelladi, S., Ravelet, F., Sarraf, C., Bakir, F., Vertenoueil, P. Experimental study of aerated cavitation in a horizontal venturi nozzle., Submitted on 1 Sep 2015.
- [7] Osterman, A., Hocevar, M., Širok, B., Dular, M., Characterization of incipient cavitation in axial valve by hydrophone and visualization., Experimental Thermal and Fluid Science (EXP THERM FLUID SCI) · April 2009.
- [8] Samson, A.G., Cavitation in control valves, www.samson.de.