

### Литература

1. Кожевников А. А., Хоменко В. Л. Классификация параметров, влияющих на глубину спуска криогенно-гравийных фильтров / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. научных трудов. – Вып. 20. – Киев: ИСМ им В.Н. Бакуля НАН Украины, 2017. – С. 81-85.
2. Башкатов А. Д. Прогрессивные технологии сооружения скважин. – М.: Недра, 2003 – 554с.
3. Справочник по бурению скважин на воду / Д. Н. Башкатов, С. С. Сулакшин, С. Л. Драхлис, Г. П. Квашнин. – М.: Недра, 1979. – 560 с.
4. Гаврилко В. М., Алексеев В. С. Фильтры буровых скважин. – М.: Недра, 1985. – 334 с.
5. Квашнин Г. П., Деревянных А. И. Водозаборные скважины с гравийными фильтрами. – М.: Недра, 1981. – 216 с.
6. Кожевников А. А., Судаков А. К. Криогенно-гравийные фильтры буровых скважин. – Д.: Литограф, 2014. – 305 с.

Поступила 05.06.18

### References

1. Kozhevnykov A. A., & Khomenko V. L. (2017) Klassifikaciia parametrov, vliiaushchikh na glubinu spuska kriogenno-gravijnykh filtrov [Classification of parameters affecting the depth of descent of cryogenic-gravel filters]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tehnologii ego izgotovleniia i primeneniia: sbornik nauchnykh trudov - Rock-cutting and metal-cutter instrument - technical and technology of its manufacture and application: collection of scientific paper, 20*, (pp. 81–85). Kiev: [in Russian].
2. Bashkatov, A. D. (2003). *Progressivnye tehnologii sooruzhenija skvazhin [Progressive technologies of well construction]*. – Moscow: Nedra [in Russian].
3. Bashkatov, D. N., Sulakshin, S. S., Drahlis, S. L., & Kvashnin G. P. (1979) *Spravochnik po bureniu skvazhin na vodu [Handbook of drilling water wells]*. Moscow: Nedra [in Russian].
4. Gavrilko, V. M. & Alekseev, V. S. (1985). *Fil'try burovykh skvazhin [Filters of boreholes]*. – Moscow: Nedra [in Russian].
5. Kvashnin, G. P. & Derevjannyh, A. I. (1981). *Vodozabornye skvazhiny s gravijnymi fil'trami [Water intake wells with gravel filters]*. – Moscow: Nedra [in Russian].
6. Kozhevnykov, A. A. & Sudakov, A. K. (2014). *Kriogenno-graviinye fil'try burovykh skvazhin [Cryogenic-gravel filters of boreholes]*. Dnipro: Litograf [in Russian].

УДК 622.24

**А. А. Кожевников**, д-р техн. наук, **А. Ф. Камышацкий**, канд. техн. наук

Национальный технический университет «Днепровская политехника», пр. Дмитрия  
Яворницкого 19, 49000г. Днепр, Украина, e-mail: trmpi@outlook.com

## ОЦЕНКА ЭНЕРГОЕМКОСТИ РАБОТЫ КАВИТАТОРОВ РАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Задачей научного исследования является оценка энергоемкости работы разработанного суперкавитационного генератора в сравнении с классическим кавитационным генератором «трубка Вентури». Для решения поставленной задачи при научном исследовании был использован классический подход, который заключается в сравнении потери давления на исследуемых кавитационных генераторах. Основные выводы заключаются в следующем: эффективность использования гидродинамической кавитации подтверждена разработками способов и устройств

*по интенсификации технологических процессов и снижении энергопотребления в горнодобывающей отрасли; конструкция кавитационного генератора органично вписывается в различные технологии и позволяет интенсифицировать их при более низких удельных энергозатратах, не требует трудоемкой доработки оборудования; удельный расход энергии на суперкавитационном генераторе меньше в 3-5 раз чем на стандартном генераторе трубке Вентури. В качестве критерия для исследуемых кавитационных генераторов выступала частота колебаний. Практическое значение заключается в применении менее энергоемкого кавитатора в различных технологических процессах при бурении скважин. Оригинальность и ценность исследований заключена в разработке совершенно новых конструкций кавитационных генераторов и обосновании их применения в бурении скважин с точки зрения энергоемкости.*

**Ключевые слова:** кавитация, кавитационный генератор, трубка Вентури, суперкавитация.

### **Введение**

Анализируя различные конструкции кавитационных генераторов и объединяя их по такому признаку, как энергоемкость разрушения и эффективность диспергирования, можно заключить, что гидродинамические кавитационные аппараты наиболее полно отвечают предъявляемым требованиям.

Когда местное давление жидкости в некоторой точке падает ниже величины, соответствующей давлению насыщенного пара при данной окружающей температуре, тогда жидкость переходит в другое состояние, образуя, в основном, фазовые пустоты, которые называются кавитационными пузырями. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время сжатия, пузырек захлопывается, излучая при этом ударную волну.

Обобщение и анализ исследований по применению гидродинамической кавитации для интенсификации различных технологических процессов, протекающих в жидких средах, указывает на перспективность этого метода для процессов в бурении скважин. В настоящее время кавитационно-кумулятивное воздействие на процессы перемешивания, диспергирования, эмульгирования, освоения и т.д. в различных системах еще недостаточно хорошо изучены.

### **Основной материал**

В работах [1-3] рассматривается возможность использования в буровых процессах классического устройства для генерирования кавитации – трубки Вентури. Подробный обзор результатов этих исследований практически невозможно включить в рамки настоящей работы. Принципиальная схема работы трубки Вентури приведена на рис.1.

Трубка Вентури состоит из конфузора, критического сечения малого диаметра и диффузора. Ее работа заключается в преобразовании стационарного потока в пульсирующий, что достигается при прохождении потока от критического сечения к диффузору. При этом происходит падение давления и возникает кавитация.

Как показали исследования, приведенные в работе [4-6], с возникновением кавитации сопротивление трубки Вентури будет увеличиваться пропорционально степени развития кавитации, а расход сохраняется постоянным независимо от дальнейшего снижения давления на выходе из трубки Вентури. Таким образом, регулирование режимов работы такого кавитационного генератора возможно лишь изменением его геометрических размеров (диаметра критического сечения и угла раскрытия диффузора).

На основе трубки Вентури Институтом геотехнической механики был разработан генератор импульсов давления (ГИД) (рис. 2) [8].

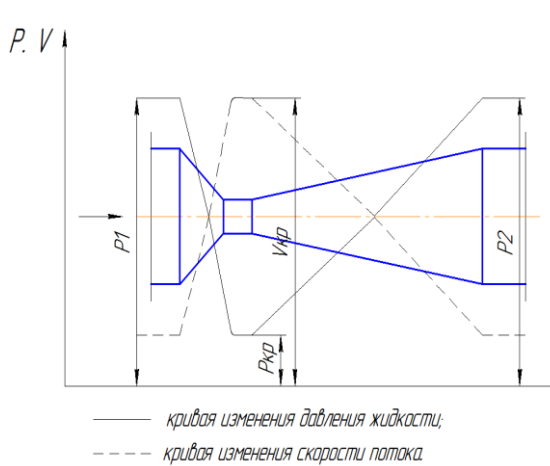


Рис. 1. Схема работы трубки Вентури

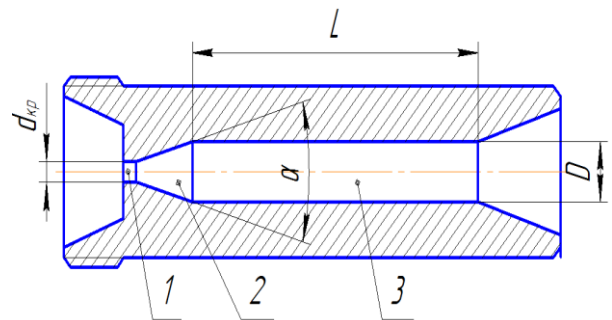


Рис. 2. Генератор импульсов давления (ГИД): 1 – критическое сечение генератора с минимальным диаметром; 2 – диффузор; 3 – последидиффузорный проточный канал

Один из современных направлений в области получения кавитации – суперкавитация.

Принцип действия суперкавитационных механизмов заключается в том, что при обтекании соответствующего кавитатора образуется суперкаверна, замыкание которой происходит непосредственно в потоке достаточно далеко от рабочих поверхностей аппарата. Нестационарная хвостовая часть каверны генерирует поля кавитационных микропузырьков, которые при схлопывании интенсифицируют процесс диспергирования. При этом рабочие поверхности аппарата не подвергаются кавитационной эрозии, и срок их службы не зависит от режимов кавитационной обработки [1-4]. Определяющими факторами являются количество и размеры образующихся кавитационных пузырьков. Для того чтобы получить кавитационные пузырьки оптимальных по технологическому воздействию размеров необходимо создать каверну с определенным характером нестационарного движения в ее хвостовой части [5].

Таким образом, в суперкавитационных аппаратах необходимое количество кавитационных микропузырьков заданных размеров генерируется самой суперкаверной и практически не зависит от физических параметров жидкости, т.е. от количества кавитационных зародышей.

Простота, высокая надежность и эффективность суперкавитационных аппаратов, их универсальность открывает широкие возможности для их использования при бурении скважин.

С учетом вышесказанного и на основании проведенных аналитических и теоретических исследований, был разработан экспериментальный образец кавитационного генератора (рис. 3) [1, 3, 7, 9].

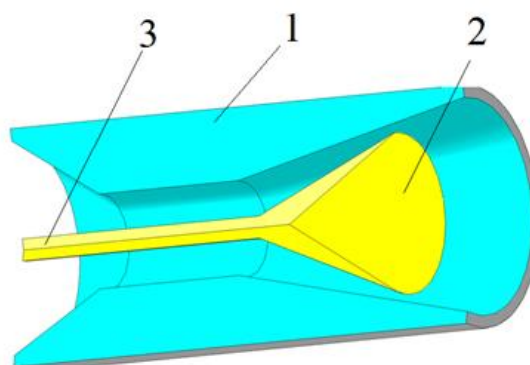


Рис. 3. Суперкавитационный генератор: 1 - ниппель специального сечения; 2 – конус обтекания; 3 – шток

Рабочая жидкость по подающей линии поступает в ниппель специального сечения 1 и, обтекая конус 2, поступает в выкидную линию. При обтекании конуса 2 происходит образование участка, в котором капельная жидкость полностью отсутствует – появляется суперкаверна. Для обеспечения возможности регулирования режимными параметрами работы кавитационного генератора, конус обтекания 2 выполнен с возможностью осевого перемещения в диффузоре ниппеля 1 путем перемещения штока 3. При этом размер суперкаверны будет зависеть от скорости набегающего потока и, как следствие, от радиального зазора между конусом обтекания и диффузором ниппеля 1.

Конус обтекания 2 выполнен полым для увеличения объема образуемой суперкаверны, что, в свою очередь, влечет увеличение количества кавитационных микропузырьков (так как микропузырьки образуются по всей поверхности кавитационной каверны) и, соответственно, повышает интенсивность процесса кавитационного диспергирования.

Цель статьи – оценить энергоемкости работы разработанного суперкавитационного генератора (КГ-СК) в сравнении с классическим кавитационным генератором «трубка Вентури» (КГ-ТР).

В качестве критерия оценки эффективности различного типа исследуемых кавитационных генераторов был принят удельный расход энергии:

$$J = \rho \cdot g \cdot \Delta h_{\text{кв}}, \text{ Дж/м}^3 \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости (для воды 1000 кг/м<sup>3</sup>), кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta h_{\text{кв}}$  – потери давления на кавитационном генераторе, м вод.ст.

Более эффективным кавитационным генератором будет считаться тот, в работе которого потребуется меньший удельный расход энергии.

Используя формулу (1), определяем удельный расход энергии на суперкавитационном генераторе и трубке Вентури. Результаты приведены в виде графической зависимости на рис. 4 и в виде числовых значений в табл. 1. При расчете принимаем перепад давления на трубке Вентури из работы [5–7], а для суперкавитатора из работ [8, 9].

Таблица 1. Удельный расход энергии на кавитационном генераторе (кДж/м<sup>3</sup>)

Тип генератора	Частота кавитационных колебаний, Гц					
	1700	2800	3500	5200	6500	8400
Суперкавитационный генератор	100	300	400	440	700	1100
Трубка Вентури (ГИД)	500	700	1000	1500	2000	3000

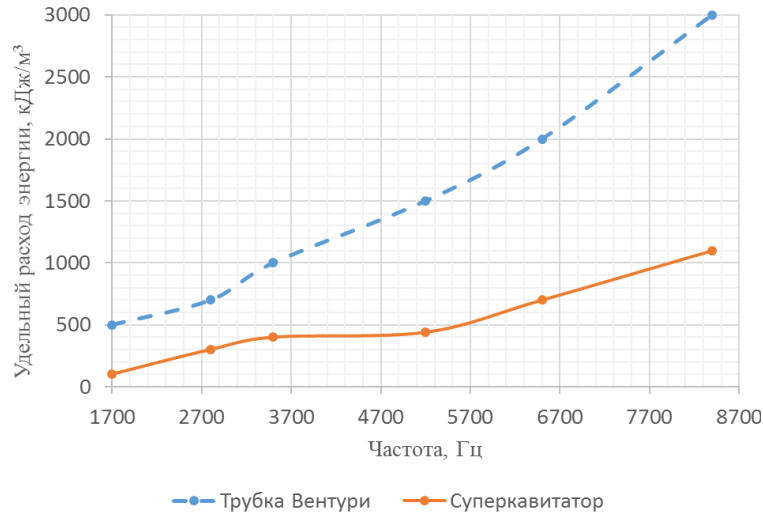


Рис. 4. Удельный расход энергии на кавитационном генераторе

### Выводы

1. Эффективность использования гидродинамической кавитации подтверждена разработками способов и устройств по интенсификации технологических процессов и снижению энергопотребления в горнодобывающей отрасли.

2. Конструкция суперкавитационного генератора органично вписывается в различные технологии и позволяет интенсифицировать их при более низких удельных энергозатратах, не требует трудоемкой доработки оборудования.

3. Удельный расход энергии на суперкавитационном генераторе (КГ-СК) меньше в 3-5 раз чем на стандартном генераторе трубке Вентури (КГ-ТВ).

*Завданням наукового дослідження є оцінка енергоємності роботи розробленого суперкавітаційного генератора в порівнянні з класичним кавітаційним генератором «трубка Вентури». Для вирішення поставленого завдання при науковому дослідженні був використаний класичний підхід, який полягає в порівнянні втрати тиску на досліджуваних кавітаційних генераторах. Основні висновки полягають в наступному: ефективність використання гідродинамічної кавітації підтверджена розробками способів і пристроїв по інтенсифікації технологічних процесів і зниження енергоспоживання в гірничодобувній галузі; конструкція кавітаційного генератора органічно вписується в різні технології і дозволяє інтенсифікувати їх при більш низьких питомих енерговитратах, не вимагає трудомісткою доопрацювання обладнання; питома витрата енергії на суперкавітаційного генераторі менше в 3-5 разів ніж на стандартному генераторі трубки Вентури. В якості критерію для досліджуваних кавітаційних генераторів виступала частота коливань. Практичне значення полягає в застосуванні менш енергоємного кавітатора в різних технологічних процесах при бурінні свердловин. Оригінальність і цінність досліджень укладена в розробці абсолютно нових конструкцій*

кавітаційних генераторів і обґрунтуванні їх застосування в бурінні свердловин з точки зору енергоємності.

**Ключові слова:** кавітація, кавітаційний генератор, трубка Вентурі, суперкавітація.

**A. A. Kozhevnykov, A. F. Kamyshatskyi**

#### **EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE WORK OF THE CAVITATIONAL GENERATOR**

*The task of the scientific research is to estimate the energy intensity of the work of the developed supercavitational generator in comparison with the classical cavitation generator "Venturi tube". To solve the task at the scientific research the classical approach was used, which consists in comparing the pressure loss on the investigated cavitation generators. The main conclusions are as follows: the effectiveness of the use of hydrodynamic cavitation is confirmed by the development of methods and devices for the intensification of technological processes and the reduction of energy consumption in the mining industry; the design of the cavitation generator organically fits into various technologies and allows to intensify them at lower specific energy inputs, does not require labor-consuming modification of the equipment; the specific energy consumption in the supercavitation generator is less by 3-5 times than on the standard generator of the Venturi tube. As a criterion for the cavitation oscillators studied, the oscillation frequency was the oscillation frequency. Practical value consists in using a less energy-intensive cavitator in various technological processes when drilling wells. The originality and value of research lies in the development of completely new designs of cavitation generators and the rationale for their application in drilling wells in terms of energy intensity.*

**Key words:** cavitation, cavitation generator, Venturi tube, supercavitation.

#### **Литература**

1. Dreus, A. Yu., Sudakov, A. K., Kozhevnikov, A. A., Vakhlin, Yu. N. "Study on thermal strength reduction of rock formation in the diamond core drilling process using pulse flushing mode", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2016
2. A. Dreus, A. Kozhevnikov, A. Sudakov, K. Lysenko. Investigation of heating of the drilling bits and definition of the energy efficient drilling modes // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* – 2016. – Vol.3. – No 7 (81). – 41–46. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71995
3. Filimonenko, N. T., Kozhevnikov, A. A. Solid phase motion in intermittent vertical flow *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2013.
4. Kozhevnykov, A. A., Khilov, V. S., Borysevych, O. A., Belchitskyi, O.P. Experimental research of the boring technology with pulsating instrument rotation *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2012.
5. Davidenko A. N., Kamyshatsky A. F., Sudakov A.K. Innovative technology for preparing washing liquid in the course of drilling /*Sci. and In.* 2015. № (11)5. P. 5- 13.
6. Alexandr N. Davidenko, Alexandr F. Kamyshatsky Technology for preparing washing liquid / *AGH DRILLING, OIL, GAS*, Vol. 33, No. 4, 2016. P. 693- 697.
7. Пилипенко В. В. Кавитационные автоколебания / В. В. Пилипенко. – К.: Наук. думка, 1989. – 316 с.
8. Давиденко О. М., Камишацький О. Ф. Обґрунтування частотного спектру роботи пристрою для обробки промивальних рідин при бурінні свердловин // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения.* – 2016. – №. 19. – С. 104-107.
9. Давиденко А. Н., Камышацкий А. Ф. Совершенствование конструкции кавитационного генератора // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения.* – 2015. – №. 18. – С. 113-114.

*Поступила 03.06.18*

## References

1. Dreus, A. Yu., Sudakov, A. K., Kozhevnikov, A. A., Vakhalin, Yu. N. (2016). "Study on thermal strength reduction of rock formation in the diamond core drilling process using pulse flushing mode", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* [in English].
2. A. Dreus, A. Kozhevnikov, A. Sudakov, K. Lysenko. (2016). Investigation of heating of the drilling bits and definition of the energy efficient drilling modes // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – Vol.3. – No 7 (81). P. 41–46.* [in English]. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71995
3. Filimonenko, N. T., Kozhevnikov, A. A. (2013). Solid phase motion in intermittent vertical flow *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* [in English].
4. Kozhevnykov, A. A., Khilov, V. S., Borysevych, O. A., Belchitskyi, O. P. (2012). Experimental research of the boring technology with pulsating instrument rotation *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* [in English].
5. Davidenko A. N., Kamyshatsky A. F., Sudakov A. K. (2015). Innovative technology for preparing washing liquid in the course of drilling /*Sci. and In. N (11)5. P. 5–13* [in English].
6. Alexandr N. Davidenko, Alexandr F. Kamyshatsky Technology for preparing washing liquid / *AGH DRILLING, OIL, GAS, Vol. 33, N 4, 2016. P. 693 – 697* [in English].
7. Pilipenko V.V. (1989). *Kavitatsionnyie avtokolebaniia [Cavitation self-oscillations]*. Kiev, Nauk. dumka, – 316 s. [in Russian].
8. Davidenko, O. M., & Kamishatskiy, O. F. (2016). Obgruntuvannia chastotnogo spektru roboty pristroiu dlia obrobky promyvalnykh ridyn pry burinni sverdlolvyn [Justification of the frequency spectrum of the device for the treatment of washing liquids during drilling wells] // *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tehnologiia ego izgotovleniia i primeneniia: sbornik nauchnykh trudov – Rock-cutting and metal-cutter instrument - technical and technology of its manufacture and application: collection of scientific paper, 19, 104-107* [in Ukrainian]
9. Davidenko, A. N., & Kamyishatskiy, A. F. (2015). Sovershenstvovanie konstruksii kavitatsionnogo generatora [Perfection of the construction of a cavitation generator] // *Porodorazrushayuschiy i metalloobrabatyivayuschiy instrument-tehnika i tehnologiya ego izgotovleniia i primeneniia [Pore-breaking and metal-working tools-technology and technology of its manufacture and application]. 18. – S. 113–114* [in Russian].

УДК 622.24

**А. О. Ігнатов**, канд. техн. наук

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького,  
19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: A\_3000@i.ua*

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ГНУЧКОЇ КОЛОНИ БУРИЛЬНИХ ТРУБ ДЛЯ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН**

*Методами конструкторського аналізу і за допомогою теоретичних прийомів досліджень встановлено основоположні принципи роботи забійного пристрою створення осьового навантаження на породоруйнівний інструмент.*

*Проаналізовано базові конструкції забійних пристроїв подачі долота. У результаті проведення конструкторського і теоретичного аналізу встановлено основні принципи роботи як окремих вузлів забійного пристрою створення осьового навантаження, так і його загалом.*