### FRI-9.2-1-EC-03

# ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE NOISE, GENERATED FROM TWO CENTRIFUGAL PUMPS, OPERATING IN PARALLEL – STATISTICAL APROACH OF THE LEVELS DISTRIBUTION

Senior assistant Nikolay Kovachev, PhD Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering, Agrarian and industrial Faculty, "Angel Kanchev" University of Ruse, Bulgaria Tel.: +35982 888 498 E-mail: nkovachev@uni-ruse.bg

**Abstract:** Abstract: The paper presents the results of a noise study of a hydraulic system of centrifugal pump operating in parallel. A methodology of experimental studies has been developed and noise testing has been carried out at various pump operating modes. Measurement was performed for 2,000 seconds for each mode, with 2000 values averaged over 1 second on the A-weighted sound pressure level. Statistical data was performed on the test data to determine the influence of the pump operating mode on statistical parameters of distribution laws - dispersion, standard deviation, mathematical expectation, and density of distribution. Depending on the increase of the noise, the flow rate of the pump is determined. An analysis of the environmental impact of the noise from parallel centrifugal pumps was carried out.

**Keywords:** Noise, environmental impact, centrifugal pumps, distribution laws, noise parameters, spectral distribution of sound pressure level, frequency.

### въведение

В опазването на околната среда, използването на хидравлични и пневматични системи и устройства е изключително важно. Това се дължи отчасти на факта, че компонентите на околната среда, най-уязвими на поява и разпространение на замърсителите имат флуиден характер – вода и въздух (Vladimirov, L., 2011). При използване на познатите схеми на третиране възниква въпросът за тяхното актуализиране и оптимизиране на работата им, с цел редуциране на енергийното потребление и намаляване на шума (Kovachev, N., 2007). В настоящата работа е извършено изследване на шума, генериран от хидравлична уредба с центробежна помпа, като функция на работните параметри на уредбата. Целта на работата е да се определи зависимостта на шума от работните параметри на хидравличната уредба, като за постигането й са решени следните задачи:

- Разработена е методика и е проведено експериментално изследване;
- Ивършен е статистически анализ на получените резултати;
- Дефинирана е необходимостта от редуциране на шума на хидраличните уредби.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

# Методика за експериментално изследване на шум на хидравлична уредба с 2 паралелно свързани центробежни помпи

Лабораторната уредба за изпитване на центробежни помпи е с отворена циркулация на водата и нейната принципна схема е показана на фигура 1. Тя е предназначена както за опитно снемане на работните характеристики при постоянна честота на въртене на вала на помпата, така и за опитно определяне на универсалната характеристика на помпата. Експерименталната помпа 4 е моноблочно изпълнение със задвижващия електродвигател 5. Тя засмуква вода от резервоара 1 и я подава в нагнетателния тръбопровод 12, откъдето водата отново се връща в резервоара. За първоначалното запълване на помпата с вода на входа на смукателния тръбопровод е монтиран смукателят 2. Различните режими при изпитването се настройват чрез регулиране на дебита посредством монтирания в нагнетателната тръба шибър 11. За измерване на напора на помпата са монтирани съответно вакуумметърът 9 към смукателния фланец и манометърът 10 към нагнетателния фланец. Мощността на помпата се измерва по електрически път. За целта в захранващата електродвигателя електрическа линия е свързан ватметърът 14. По този начин могат да се настройват и поддържат различни честоти на въртене на вала на помпата, необходими при опитното определяне на универсалната характеристика (BDS 12403:1974).

Дебитът на помпата се измерва чрез блендата 16 и свързания към нея диференциален живачен манометър 15. За целта блендата е предварително тарирана по опитен път.



Фиг. 1. Общ вид на уредбата за експериментално изпитване:

 Резервоар; 2. Смукател; 3. Смукателен тръбопровод; 4. Едностъпална центробежна помпа; 5. Електродвигател; 6. Индуктивен преобразовател; 7. Щифт; 8. Електронен брояч;
9. Вакуумметър; 10. Манометър; 11. Шибър; 12. Нагнетателен тръбопровод; 13. Инвертор; 14. Ватметър; 15. Диференциален манометър; 16. Бленда

Подготовката на опитна уредба преди провеждане на даденото изпитване на помпата се извършва като се запълва смукателният тръбопровод и помпата с вода. Това става като през предвидената за целта пробка в най-високата част на помпата се налива вода, докато помпата се напълни. Обезвъздушава се уредбата, като се отвари шибърът 11 и се осигури циркулация на водата. Посредством шибъра 11 са установява определен дебит. При напълно затворен шибър, дебитът е Q=0, а Q=Q<sub>max</sub> - е при напълно отворен.

# ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ШУМА И АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ.

При провеждане на експериментално изследване е важно да се определи местоположението на микрофона (Vaseghi, S. V., 2006). В настоящото изпитване

микрофонът е разположен в 1 точка, на разстояние 1 m от контура на уредбата. Избрана е точката с най-високи нива на шум (Hassall, J.R., K. Zaveri, 1988). Използван е микрофон от клас 1 SVANTEK 971. Извършени са изпитвания при различни дебити на центробежната помпа, съответно – 0, 5 и 10 l/s. извършени са измервания в продължение на 35 min, като генерираният резултат за параметрите на шума е представен за всяка секунда. Така са получени по 2000 стойности, които са обработени статистически. По-долу са представени получените резултати.

На фигура 2 е посочена динамиката на нивата на звуково налягане при честота 1000 Hz за 3 дебита – 0, 5 и 10 l/s, както и регресионните криви на зависимостите. Графиките илюстрират сравнителната устойчивост на нивата на звуково налягане във времето, като в процеса на работа се наблюдава нарастване на стойностите на шума, най-значително при дебит Q=10 l/s. Но остават в рамките на 2 dB.

Получените регресионни криви имат следните зависимости: При Q=0 l/s:  $Lp_A=-4.10^{-9}t^3+4.10^{-6}t^2+0,0004t+67,266$ 

Q=0 l/s: $Lp_A=-4.10^{-9}t^3+4.10^{-6}t^2+0,0004t+67,266$ Q=5 l/s: $Lp_A=3.10^{-10}t^3-10^{-6}t^2+0,0016t+68,556$ Q=10 l/s: $Lp_A=-6.10^{-9}t^3+7.10^{-6}t^2-0,0014t+70,13$ 

където L<sub>pA</sub> е ниво на звуковото налягане по скала A, a t е времето на измерване.



Фиг. 2. Динамика на нивата на звуково наляганепри честота 1000 Hz за 3 дебита – 0, 5 и 10 l/s и регресионни криви на зависимостите

Фигура За представя повърхнина, която показва тенденциите в изменението на шума, измерен по скала А на шумомера, във функция от времето на измерване и дебита. Като цяло се наблюдава динамика на нивата във времето, което показва дисперсия на получените резултати, дължаща се на турбулентността на транспортирания поток. По отношение на дебита се наблюдава нарастване на нивата на шума, като при дебит нула, стойностите варират около 69,5 dBA, докато при максималния дебит те са 73,4 dBA. Тази разлика може да се окаже значителна, ако се проведат изследвания в други точки, тъй като при структурния шум, който възниква по елементите на уредбата определени резонансни честоти, могат да увеличат нивата и да създадат недопустими нива на звуковото налягане около хидравличната уредба. За средните дебити нивата са около 71,4 dBA. Това показва нелинейния характер на зависимостта на шум от дебита и налага провеждане на по-



Фиг. 3. Изменение на шума във функция на дебита на помпата и времето на изпитване: а) измерен по скала A; b) измерен с октавен филтър, за октавна лента със средногеометрична честота 63 Hz

На фигура 3b е представена подобна зависимост при честота 63Hz. При тази октавна честотна лента се наблюдава нарастване на динамиката с резки пикове и падове на звуковото налягане. Това се дължи на липсата на осредняване, което се прави по скала A и показва силната честотна зависимост на нивата на звуково налягане в отделните измервания от честотата на звука. Тук се наблюдава нарастване на неопределеността с увеличаване на дебита. И ако средните стойности нарастват от 45 dB при дебит нула до 49,5 dB при 10 l/s дебит, то разликите в нивата могат да достигнат от 1-2 dB при дебит нула до 4-5 dB при 10 l/s. При честота 1000 Hz се наблюдава значително по-ниска неопределеност.





При увеличаване на дебита дисперсията запазва постоянни стойности. Което показва независимост на нивата на звуково налягане от дебита при тази висока честота. Средните стойности нарастват от 70,2 dB при дебит нула до 73,5 dB при 10 l/s дебит, то разликите в нивата са от 1-1,2 dB при дебит нула до 1,3-2,5 dB при 10 l/s. Анализът на последните 2 графични зависимости, показва необходимостта от провеждане на изследвания при различни честотни летни и търсене на неопределеността при различните дебити.

	0 l/s				5 l/s				10 l/s			
				St.				St.				St.
	Max	RMS	Fc	Dev	Max	RMS	Fc	Dev	Max	RMS	Fc	Dev
31,5 Hz	37,20	28,29	1,32	2,22	35,50	32,23	1,10	0,43	37,80	30,86	1,22	1,11
63 Hz	57,90	44,11	1,31	2,14	56,80	46,43	1,22	0,43	47,30	44,35	1,07	1,27
125 Hz	60,90	59,33	1,03	0,47	59,90	55,38	1,08	0,58	60,60	57,81	1,05	1,55
250 Hz	61,90	60,92	1,02	0,32	61,50	59,41	1,04	0,54	60,30	57,57	1,05	0,72
500 Hz	60,10	59,28	1,01	0,30	62,20	61,01	1,02	0,32	64,70	61,53	1,05	0,94
1000 Hz	69,10	68,09	1,01	0,44	70,90	69,24	1,02	0,51	72,90	70,87	1,03	0,68
2000 Hz	65,00	64,14	1,01	0,25	65,90	65,46	1,01	0,15	66,20	65,48	1,01	0,20
4000 Hz	61,30	59,76	1,03	0,18	64,00	63,54	1,01	0,12	62,80	62,32	1,01	0,14
8000 Hz	53,40	51,06	1,05	0,15	58,20	57,79	1,01	0,18	54,70	54,16	1,01	0,20
16000 Hz	42,80	38,46	1,11	0,25	46,00	45,41	1,01	0,24	42,90	42,12	1,02	0,30
Total A	71,70	71,11	1,01	0,18	73,20	72,33	1,01	0,26	74,30	73,06	1,02	0,34

Таблица 1. Изменението на параметрите на шума, във функция от дебита за всяка отделна октавна честотна лента и по скала А

На следващата фигура 4 хистограмата на разпределение на стойностите в отделните измервания е показана за 3те дебита при определяне на нивото на звуково налягане по скала А. При нормално разпределение фигурата визуализира по-голямото разсейване на резултатите с намаляване на дебита (по-широка основа на "камбаната"). Това е важно да се отбележи и да се предвидят по-детайлни изследвания в бъдещи изследвания и други времеви интервали при извършване на записите на шума.





В работата е извършен анализ на динамиката на 2 параметъра – стандартно отклонение  $\sigma$  и крест фактор – Fc във функция от честота. В Таблица 1 са посочени промените на параметрите на шума, във функция от дебита за всяка отделна октавна честотна лента и по скала A, а на фиг. 5 тези зависимости са представени графично. Вижда се подчертаната зависимост на параметъра от честотата на шума и от дебита На фигура 5 е представена графика, отчитаща динамиката на стойностите на стандарттното отклонение  $\sigma$  и крест фактора - F<sub>c</sub> за всяка октравна честотна лента и по скала A.

Стойностите на стандартното отклонение варират значително при дебит нула. Като при честотна лента 31,5 Hz стойността е 2,22, при 63 Hz намалява до 2,14, за да достигне минимална стойност 0,15 при 8 kHz. При максималния дебит – 10 l/s, стандартното отклонение варира от 1,55 при честотна лента 125 Hz до 0,14 при 4000 Hz. Стойностите се променят минимално при номинален дебит, варирайки от 0,58 до 0,12. По скала A, нарастват при увеличаване на дебита. При крест фактора динамиката на стойностите във функция от честотните ленти е по-малка, като максимална е за нулев дебит, като при честотна лента 31,5 Hz стойността е 1,32, и при 16 кHz намалява до 1,11. При 5 l/s се наблюдава локален максимум при 63 Hz – 1,22, като в останалите честотни ленти стойността е около единица. Подобни са разпределенията и при максимален дебит, като там се отчита локален екстремум при 31,5 Hz – 1,22. По скала A, стойностите не се различават значително за всеки дебит.

На базата на представените анализи се прави заключение за тясната зависимост на параметрите от честотата и се налага необходимост от провеждане на детайлни и задълбочени изследвания за повече нива на дебита.

# ИЗВОДИ

Анализът на шума на центробежни помпи, работещи паралелно, показва важни тенденции, които следва да се отчитат, с цел създаване на енергоефективни и безопасни за здравето хидравлични системи. Стандартното отклонение нараства значително с увеличаване на дебита. Като това е валидно за измервания по скала А на шумомера. При изследване на честнотните октавни ленти обаче се наблюдава значителна дисперсия в ниските честото при нисък дебит. Което е показател за нискоефективна работа на помпите в тази зона, но е по-малко вредно за здравето на операторите. При крест фактора на шума, който е своеобразен енергергетичен показател на звуковата вълна, се набюдава силна зависимост от честотата, като най-значителни са стойностите при ниски честоти и при найвисоките. Което също подчертава безопасността на шума в тези честотни ленти, но е и важен показател за енергийната ефективност на работния процес.

## REFERENCES

BDS 12403:1974 Pompi tsentrobezhni, osovi i vihrovi. Metodi za opredelyane na shum I vibratsii (**Оригинално заглавие:** БДС 12403:1974 Помпи центробежни, осови и вихрови. Методи за изпитване на шум и вибрации)

Vladimirov, L., (2011) Informatsionnata nesigurnost na indiskretno-izmervani shumovi imisii. Chast I. Izmervane i metod za otsenka na nesigurnostta. Sbornik trudove ot nauchna konferentsia "Problemi na imformatsionnata sigurnost prez XXI vek "NVU "V. Levski" (**Оригинално заглавие:** Владимиров, Л., Н. Ковачев. Информационната несигурност на индискретно - измервани шумови имисии. Част І. Измерване и метод за оценка на несигурността. Сборник научни трудове от научна конференция "Проблеми на информационната сигурност през XXI век". НВУ "В. Левски". 2011. с.228-236.)

Kovachev, N., (2007) Izsledvane na difentsialniya risk ot shuma na uredbi s vodni tsentrobezhni pompi. Chetvarta nauchna konferentsiya "Pozharna ï avariina bezopasnost" Sofia. (**Оригинално заглавие:** Ковачев Н. Изследване диференциалния риск от шума на уредби с водни центробежни помпи. Четвърта научна конференция "Пожарната и аварийната безопасност". София 15-16 март, Сборник доклади. 2007. с.281-286.)

Hassall, J.R., K. Zaveri. (1988). Acoustic noise measurements, June Bruel & Kaer, Sweden Vaseghi, S. V. (2006). Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction. Third edition. John Wiley & Sons Ltd. The Atrium, Southern Gate. Chichester. England. 480 p.