

THE STRUCTURE OF CONTROLLED COOLING OF LARGE ELECTRIC MOTORS

E. Nosach, V. Artamonov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: evnosach@mail.ru

Yu. Branspiz

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
kvartal Molodizhnyi, 20-a, Luhansk, 91034, Ukraine. E-mail: branspiz@mail.ru

Considered consequences of the work with higher temperature in the conductors of DC motors. Grounded the need to control ventilation of electrical machines. Depending on the mode of operation of electrical machines, and considering effect of temperature on the active parts of the components of power, suggested several ways to implement the cooling system.

Key words: electrical machine, loss, cooling system, isolation, load.

REFERENCES

1. Hvostov V.S. *Electrical machinery: DC machine*. – M.: Vyssha shkola, 1988. – 336 p. [in Russian]
2. Ermolin N.P., Gerihin I.P. *The reliability of electrical machines*. – L.: Energiya, 1976. – 248 p. [in Russian]
3. Syromyatnikov I.A. *Modes of asynchronous and synchronous motors*. – M.: Energoatomizdat, 1984. – 240 p. [in Russian]

Стаття надійшла 23.01.2012.
Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.

УДК 621.65.052

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАВИТАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ
В НАСОСНОМ КОМПЛЕКСЕ

А. А. Сердюк, Т. В. Коренькова, В. В. Артамонов

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: serduk@link.pl.ua

Ю. А. Бранспиз

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля
кв. Молодежный, 20-а, г. Луганск, 91034, Украина. E-mail: branspiz@mail.ru

Рассмотрены составляющие технико-экономической эффективности внедрения системы автоматического управления кавитационными процессами в насосном комплексе. Определены капитальные затраты на систему автоматического управления кавитационными процессами в насосном комплексе, рассчитаны экономический эффект и срок окупаемости системы.

Ключевые слова: кавитационные процессы, насосный комплекс, система автоматического управления, технико-экономическая эффективность.

ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КАВІТАЦІЙНИМИ ПРОЦЕСАМИ
В НАСОСНОМУ КОМПЛЕКСІ

О. О. Сердюк, Т. В. Коренькова, В. В. Артамонов

Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: serduk@link.pl.ua

Ю. А. Бранспіз

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
кв. Молодіжний, 20-а, м. Луганськ, 91034, Україна, E-mail: branspiz@mail.ru

Розглянуто складові техніко-економічної ефективності впровадження системи автоматичного керування кавітаційними процесами в насосному комплексі. Визначено капітальні витрати на систему автоматичного керування кавітаційними процесами в насосному комплексі, розраховано економічний ефект та термін окупності системи.

Ключові слова: кавітаційні процеси, насосний комплекс, система автоматичного управління, техніко-економічна ефективність.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Функционирование насосных комплексов (НК) водо- и теплоснабжения сопровождается наличием кавитационных процессов, характеризующихся периодическим нарастанием и схлопыванием пузырьков, заполненных паром

или газом [1–3]. Условиями развития кавитации являются изменение температуры окружающей среды или жидкости, степени аэрации потока жидкости, режима работы потребителя и т. д. [1]. Явление кавитации наблюдается в сифонных трубопроводах,

рабочих колесах гидромашин, на участках местных сопротивлений, где давление в потоке жидкости становится меньше давления насыщенных паров, определяющего границу возникновения кавитации. Развитие кавитации в НК сопровождается пульсирующим характером изменения технологических параметров (давления и расхода) с амплитудой колебаний до 25 % от действующего значения анализируемого параметра. При этом частота кавитационных колебаний лежит в диапазоне 2–50 Гц. Значение непроизводительных потерь мощности, обусловленных наличием кавитационных процессов в НК, достигает 30 % гидравлической мощности потока [1]. Кавитационные процессы в НК приводят к значительным перепадам давления, повышенному эрозионному износу гидравлического оборудования, образованию воздушных пробок в трубопроводной сети и т. п. [1, 3].

Для решения задачи повышения эффективности работы НК водо- и теплоснабжения авторами предложена структура системы автоматического управления (САУ) (рис. 1) кавитационными процессами (КП), позволяющая минимизировать непроизводительные потери мощности, обусловленные наличием кавитации, рекуперировать энергию парогазовой смеси, снизить кавитационный износ оборудования [4].

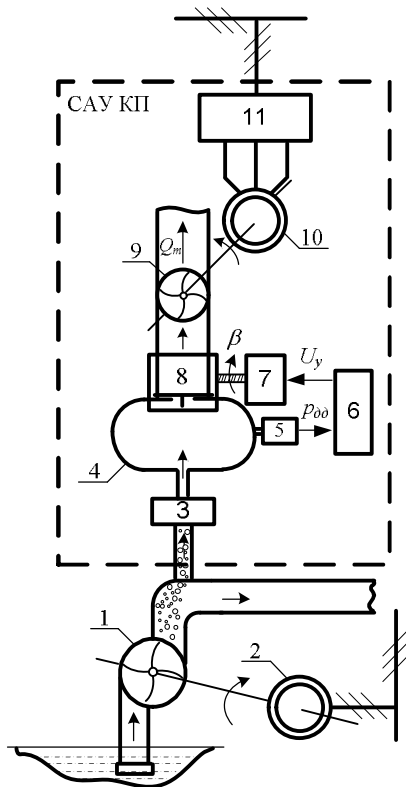


Рисунок 1 – Функциональная схема САУ КП:

- 1 – центробежный насос; 2 – асинхронный двигатель; 3 – устройство автоматического отвода парогазовой смеси; 4 – ресивер;
- 5 – датчик давления; 6 – система управления регулировочным клапаном;
- 7 – ЭП регулировочного клапана;
- 8 – регулировочный клапан; 9 – воздушная турбина;
- 10 – генератор; 11 – устройство согласования

Для НК с параметрами: напор $H = 38$ м, подача $Q = 0,188$ м³/с, потребляемая мощность насоса $N = 148$ кВт выполнен выбор оборудования, приведены капитальные затраты на реализацию САУ КП (табл. 1).

Целью работы является определение технико-экономических показателей (ТЭП) эффективности использования системы автоматического управления кавитационными процессами в насосном комплексе.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Экономический эффект от внедрения САУ КП базируется на следующих составляющих:

$$C_{ef} = C_{ef1} + C_{ef2} + C_{ef3},$$

где C_{ef1} – экономический эффект от снижения непроизводительных потерь мощности, обусловленных наличием кавитационных процессов, грн; C_{ef2} – экономический эффект от рекуперации энергии парогазовой смеси, грн; C_{ef3} – экономический эффект от снижения износа оборудования и уменьшения аварийности НК, грн.

Таблица 1 – Капитальные затраты на реализацию САУ КП

Наименование оборудования	Стоимость, грн
Сепаратор Flamcovent 400 F	115141,58
Воздухосборник V500 11B ZINC	9125
Датчик давления	1635,93
Система управления регулировочным клапаном ZET 210 с программным обеспечением	3972,5
Шибберная задвижка с ЭП	6600
Воздушная турбина-генератор В-2,3-130	9434
Устройство согласования с энергосетью DKG-117	1552,77
Кабель монтажный (100 м)	1000
Кабель силовой (50 м)	1500
Стоимость оборудования, C_k	149961,78
Транспортные, монтажные и наладочные расходы, $C_{TMN} \approx 0,075C_k$	11247,13
Суммарные капитальные затраты, $C_{\Sigma k}$	161208,91

Потери мощности, обусловленные наличием кавитационных процессов в трубопроводе:

$$\Delta N_{kav} = \Delta p_{kav} Q, \quad (1)$$

где $\Delta p_{kav} = \zeta \rho v^2 / 2$ – потери давления на кавитацию в трубопроводе, Па; $\zeta = (d^2 / (\varepsilon d_{pot}^2) - 1)^2$ – коэффициент местного сопротивления сужения потока;

$\varepsilon = 0,57 + 0,043 / (1 - (d_{pot}^2 / d^2))$ – коэффициент сжатия потока; d – диаметр трубопровода перед сужением, м; $d_{pot} = d - \sqrt[3]{6V_{kav} / \pi}$ – диаметр потока в уз-

кой части, м; V_{kav} – об'єм кавітаційної каверни, м³.

Аналіз [5] показав, що об'єм кавітаційних каверн залежить від змінюючогося в відповідності з графіком водопотреблення режиму роботи НК і ступені розвитку кавітації. Припустимо, що в розглянутому випадку усереднене значення об'єму кавітаційних каверн становить $V_{kav} = 0,09Q$. Тоді для НК з продуктивністю $Q_{max} = 0,188$ м³/с втрати енергії і витрати, обумовлені наявністю кавітаційних процесів, в сутки становлять $\Delta W_{\Sigma kav} = 1364,102$ кВт·ч і $\Delta C_{\Sigma kav} = 1023,08$ грн відповідно (табл. 2). Так як САУ КП дозволяє повністю усунювати втрати потужності на кавітацію, то

$$C_{ef1} = \Delta C_{\Sigma kav} T_{rp} = 373422,79 \text{ грн},$$

де T_{rp} – розрахунковий період часу, рівний календарному року.

Мощність рекуперації енергії парогазової суміші визначається виразом

$$N_{kav} = p_{tyr} Q_{kav} \eta_{tg}, \quad (2)$$

де p_{tyr} – тиск на вході повітряної турбіни, Па; Q_{kav} – витрата парогазової суміші, м³/с; η_{tg} – КПД системи повітряна турбіна – генератор.

На основі експлуатаційних характеристик сепаратора і можливості повного відводу парогазової суміші з потоку рідини ($Q_{kav} = V_{kav}$) робочий тиск на вході повітряної турбіни становить $p_{tyr} = 180000$ Па. Тоді економічний ефект від рекуперації енергії парогазової суміші $C_{ef2} = C_{\Sigma kav} T_{rp} = 7290,53$ грн (табл. 3).

Аналіз [1, 5] показав, що кавітаційні процеси призводять до значущого зменшення терміну служби насосного обладнання, швидкість зносу I/I_{max}

якого залежить від режиму кавітації, визначеного відносною довжиною кавітаційної зони λ/h [1]. Аналіз кривих (рис. 2) показав, що найбільший кавітаційний знос відбувається при початковій ступені розвитку кавітації $\lambda/h = 2 - 4$.

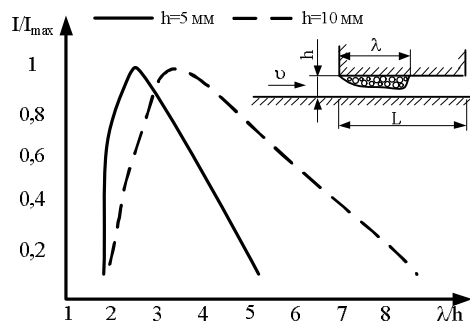


Рисунок 2 – Залежність швидкості кавітаційного зносу насосного обладнання від ступеня розвитку кавітації:

I, I_{max} – поточна і максимальна інтенсивність кавітаційного зносу (по площі), мм²/мін;
 v – швидкість руху потоку рідини, м/с;
 λ – довжина кавітаційної зони, мм; h, L – висота і довжина щіли відповідно, мм

Вищеописане призводить до скорочення терміну служби гідравлічного обладнання до 8–10 раз і зниженню КПД до 10–12 % [1, 6]. Тоді, з урахуванням нормативного терміну служби насосного обладнання, що становить економічного ефекту від зменшення кавітаційного зносу насосного обладнання становить $C_{ef3} = 34400$ грн (табл. 4).

Таблиця 2 – Параметри кавітаційного режиму

Режим роботи НК		Параметри кавітації	Втрати в НК обумовлені кавітацією		
Час t , ч	Витрата НК Q , м ³ /с	Об'єм каверн V_{kav} , м ³	Втрати потужності ΔN_{kav} , кВт	Втрати енергії ΔW_{kav} , кВт·ч	Витрати ΔC_{kav} , грн
23.00 – 7.00	$Q = 0,5Q_{max}$	$V_{kav} = 0,14Q$	$\Delta N_{kav} = 37,858$	$\Delta W_{kav} = 302,862$	$\Delta C_{kav} = 227,15$
7.00 – 9.00 18.00 – 23.00	$Q = Q_{max}$	$V_{kav} = 0,05Q$	$\Delta N_{kav} = 73,587$	$\Delta W_{kav} = 515,12$	$\Delta C_{kav} = 386,33$
9.00 – 18.00	$Q = 0,75Q_{max}$	$V_{kav} = 0,08Q$	$\Delta N_{kav} = 60,681$	$\Delta W_{kav} = 546,131$	$\Delta C_{kav} = 409,6$
Ітого за сутки				$\Delta W_{\Sigma kav} = 1364,102$	$\Delta C_{\Sigma kav} = 1023,08$

Таблиця 3 – Параметри САУ КП

Режим роботи		Параметри рекуперації енергії парогазової суміші		
Час t , ч	КПД системи повітряна турбіна – генератор η_{tg}	Мощність N_{kav} , кВт	Енергія W_{kav} , кВт·ч	Вартість C_{kav} , грн
23.00 – 7.00	0,5	$N_{kav} = 1,184$	$W_{kav} = 9,475$	$C_{kav} = 7,11$
7.00 – 9.00, 18.00 – 23.00	0,6	$N_{kav} = 1,015$	$W_{kav} = 7,106$	$C_{kav} = 5,33$
9.00 – 18.00	0,55	$N_{kav} = 1,117$	$W_{kav} = 10,05$	$C_{kav} = 7,54$
Ітого за сутки			$W_{\Sigma kav} = 26,631$	$C_{\Sigma kav} = 19,97$

Таблица 4 – Затраты и экономический эффект от снижения износа насосного оборудования

Наименование оборудования	Затраты на ремонт, грн		Экономический эффект, грн
	без САУ КП (скорость кавитационного износа 0,6)	при САУ КП (скорость кавитационного износа 0,2)	
Насос	29000	5800	$C_{ef3_1} = 23200$
Трубопровод	8000	1600	$C_{ef3_2} = 6400$
Запорно-регулирующая арматура	6000	1200	$C_{ef3_3} = 4800$
Итого	$\Sigma C_{kav} = 43000$	$\Sigma C_{kav} = 5600$	$C_{ef3} = 34400$

Текущие затраты C_{ekc} при внедрении САУ КП включают отчисления на амортизацию C_A , расходы на обслуживание и ремонт $C_R = 0,02C_k$, фонд заработной платы C_{FZ} , стоимость потребляемой электроэнергии C_{EN} [7]:

$$C_{ekc} = C_A + C_R + C_{FZ} + C_{EN}, \text{ грн.}$$

Для электрического оборудования амортизационные отчисления составляют 8,1 % от капитальных вложений, для турбомеханизмов – 15 %, для трубопроводной арматуры – 19 % соответственно [7].

Заработная плата обслуживающего персонала:

$$C_{FZ} = 1,347 \sum_i^m t_{per_i} C_{per_i},$$

где 1,347 – коэффициент, учитывающий доплаты и отчисления от заработной платы обслуживающего персонала на социальное страхование; t_{per} – время занятости персонала i -ой категории по обслуживанию объекта в течение года (инженер – 192 час/год); C_{per_i} – среднечасовая основная плата обслуживающего персонала i -ой категории (8,25 грн/час); m – число различных по уровню оплаты категорий обслуживающего персонала.

Затраты на потребляемую энергию:

$$C_{EN} = N t_{en},$$

где N – потребляемая объектом мощность от сети (1 кВт); t_{en} – тариф на электроэнергию (0,75 грн за 1 кВт·час).

Значения эксплуатационных затрат по САУ КП сведены в табл. 5.

Для рассматриваемого случая эксплуатационные затраты, экономический эффект и срок окупаемости САУ КП составили $C_{ekc} = 53658,13$ грн, $C_{ef} = 415113,32$ грн и $T = 0,5$ года соответственно.

Таблица 5 – Эксплуатационные затраты по САУ КП

Наименование	Значение, грн.
Затраты на потребляемую энергию C_{EN}	630,72
Фонд заработной платы C_{FZ}	2133,648
Отчисления на амортизацию C_A	47894,52
Расходы на обслуживание и ремонт C_R	2999,24
Общие текущие затраты C_{ekc}	53658,13

На рис. 3 приведены диаграммы, отображающие технико-экономические показатели работы НК при установке в гидросети трубопроводных средств снижения кавитационных процессов (автоматический воздухоотводчик (АВО)) и при реализации предложенной в работе САУ КП.

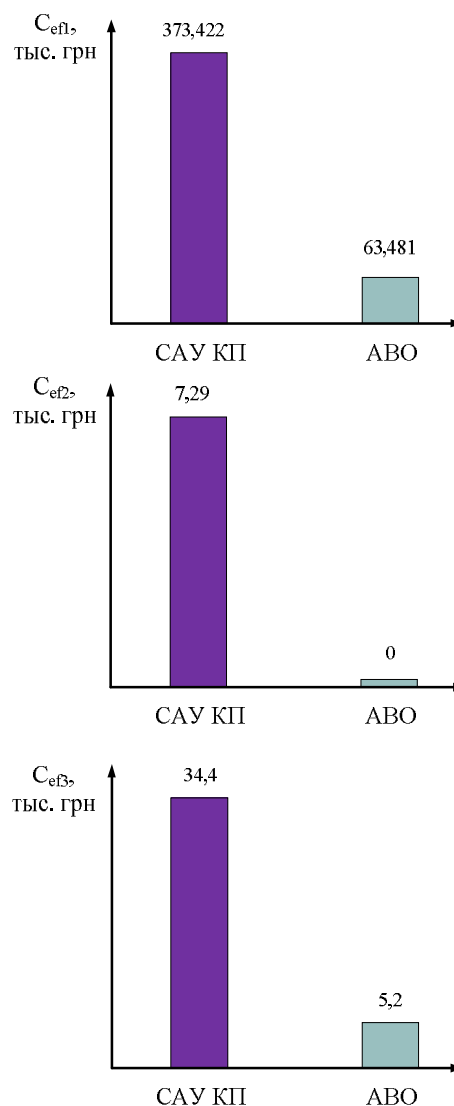


Рисунок 3 – Диаграммы технико-экономических показателей работы НК

ВЫВОДЫ. Доказано, что технико-экономическая эффективность разработанной системы автоматического управления кавитационными

процессами должна учитывать три составляющие: эффект от снижения непроизводительных потерь мощности, обусловленных наличием кавитационных процессов, эффект от рекуперации энергии парогазовой смеси, эффект от снижения износа оборудования и уменьшения аварийности насосного комплекса.

Получено, что при капитальных и эксплуатационных затратах на систему автоматического управления кавитационными процессами в насосном комплексе, составляющих 214867,04 грн, экономический эффект и срок окупаемости системы составили 415113,32 грн и 0,5 года соответственно, что подтверждает целесообразность предложенных мероприятий по повышению энергоэффективности и надежности электрогидравлического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карелин В.Я. Изнашивание лопастных насосов. – М.: Машиностроение, 1983. – 168 с.
2. Сердюк А.А. Влияние параметров трубопроводной системы на границы возникновения кавитационных явлений // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал.* – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1/2009 (5). – С. 45–48.

SYSTEM EFFECTIVENESS OF MANAGEMENT OF CAVITATIONAL PROCESSES IN THE PUMP COMPLEX

A. Serduk, T. Korenkova, V. Artamonov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: serduk@link.pl.ua

Yu. Branspiz

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
kvartal Molodizhnyi, 20-a, Luhansk, 91034, Ukraine. E-mail: branspiz@mail.ru

Components of technical and economic efficiency of introduction of system of automatic control by cavitation processes in a pump complex are considered. Capital expenses for automatic control system by cavitation processes in a pump complex, economic benefit and a system time of recovery of outlay are defined.

Key words: cavitation processes, pump complex, automatic control system, technical and economic efficiency.

REFERENCES

1. Karelin V.J. *Wear process wings pumps.* – M: Mechanical engineering, 1975. – 336 p. [in Russian]
2. Serduk A.A. Influence of parameters of pipeline system on borders of occurrence of the cavitation phenomena // *Electromechanics and energykeepings systems. Every quarter scientific and production journal.* – Kremenchuk: KDPU, 2009. – Iss. 1/2009 (5). – PP. 45–48. [in Russian]
3. Serduk A.A., Kozlenko I.O., Korenkova T.V. Influence of adjusting modes of a pump complex on parameters of cavitation processes // *Bulletin of the KDU.* – Kremenchuk. – 2010. – Iss. 2/2010 (63). – PP. 55–58. [in Russian]
4. Serduk A.A., Korenkova T.V. Optimum control system a pump complex taking into account cavitation processes in the pipeline // *Proceedings of DonNTU.* – Donetsk. – 2011. – Iss. 11 (186). – PP. 336–343. [in Russian]
5. Kozelkov V.P., Efimochkin A.F. Experimental research of cavitation self-oscillations in hydrotransport system // *Materials of meeting of Academy of Sciences of the Ukrainian SSR "Cavitation self-oscillations in pump systems".* – K.: The Dnepropetrovsk branch of Institute of mechanics AS Ukrainian SSR. – 1976. – Vol. 1. – PP. 71–80. [in Russian]
6. Naymanov A.J., Gosteva Y.V. Reliability of pump stations // *Bulletin of the DonNACEA.* – Donetsk. – 2009. – Iss. 2 (76). – PP. 3–8. [in Russian]
7. Kuznetsov B.V. *Calculations of economy of the electric power.* – Mn.: Belarus', 1983. – 80 p. [in Russian]

Стаття надійшла 11.02.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Чорним О.П.