

В наше время во многих странах мира используют альтернативные виды энергии. В эксплуатации находятся малые ГЭС, ветроэлектростанции, солнечные электрические станции и т. п. Однако в сетях, где активно устанавливаются и эксплуатируются РДЭ, а именно СЭС, имеет место ухудшение показателей качества электрической энергии.

Представлены результаты исследования влияния активной мощности, производимой СЭС, на напряжения на шинах 0,4 кВ потребителей. Доказано, что в локальных электрических системах: возможны режимы, когда напряжения на шинах 0,4 кВ потребителей могут иметь ненормированные значения, почти не ограничивающие генерирования активной мощности СЭС и регулирующие реактивную мощность СЭС; есть возможность регулировать напряжение на шинах 0,4 кВ потребителей, предотвращая превышение нормированных отклонений напряжения. Это уменьшит использование РПН трансформаторов и переключающих устройств батарей статических конденсаторов.

Ключевые слова: локальные электрические системы, распределенные источники энергии, солнечные электрические станции, инверторы, районные электрические сети, моделирование в PSCAD.

Надійшла 30.06.2015

Received 30.06.2015

УДК 681.523

Г.И. Канюк¹, д-р техн. наук, проф., декан энергетического факультета,

И.А. Бабенко², директор

А.Ю. Мезеря¹, канд. техн. наук, доцент, И.П. Лаптинов¹, ассистент, В.Н. Князева¹, инженер

¹ - Украинская инженерно-педагогическая академия

² - Змиевская тепловая электрическая станция публичного акционерного общества «Центрэнерго»

РЕЗЕРВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УПРАВЛЕНИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье проведен анализ и обработка данных экспериментального исследования центробежного насоса тепловых электростанций. Показан возможный экономический эффект при использовании алгоритмов энергосберегающего управления центробежным насосом и определен закон такого управления.

Ключевые слова: центробежный насос, энергосбережение, автоматизированная система управления.

Введение

Основными потребителями собственных нужд тепловых и атомных электростанций являются центробежные насосы. Главная научная проблема создания энергосберегающих систем управления насосными установками состоит в построении точных математических моделей энергетических процессов и объектов, в определении и минимизации функций энергетических потерь, в синтезе алгоритмов управления, которые реализуют в реальном времени режимы работы насосов с минимальными потерями энергии.

Уменьшение внепроектных затрат энергии на собственные нужды на 5% эквивалентно экономии 40 млн. гривен в год с каждой 1000 МВт. В масштабах Украины (при установленной мощности ТЭС и ТЭЦ порядка 10000 МВт) это составляет порядка 400 млн. гривен в год.

В работах [1-4] изложены основные теоретические принципы автоматизированного энергосберегающего управления нагнетательными установками электростанций, показаны алгоритмы, функциональные и структурные схемы такого управления. Целью настоящей статьи является анализ экспериментальных исследований и определение резервов энергосбережения при управлении центробежными насосами собственных нужд энергоблоков. Экспериментальные исследования проводились на базе Змиевской ТЭС.

Результаты исследования

Для исследования возможного энергосбережения проведем анализ работы насоса распространенного типа, мощностью 250 кВт. Таковым является центробежный насос двухстороннего входа типа Д630-90 для перекачивания воды.

Основные паспортные данные насоса приведены в таблице 1.

В результате эксперимента получены характеристики насоса Д630-90, приведенные на рис. 1.

Температура $T=22^{\circ}\text{C}$, давление $P=755$ мм.рт.ст. Снятие характеристик проводились для трёх частот: 980 об/мин (рис. 1 а), 1200 об/мин (рис. 1 б) и 1475 об/мин (рис. 1 в).

Таблица 1 – Паспортные данные насоса Д630-90

Тип	Номинальная мощность двигателя $N_{дв}$, кВт	Расход Q , м ³ /ч	Напор H , м	Частота вращения n , об/мин
Д630-90	250	0,175	90	980/1450

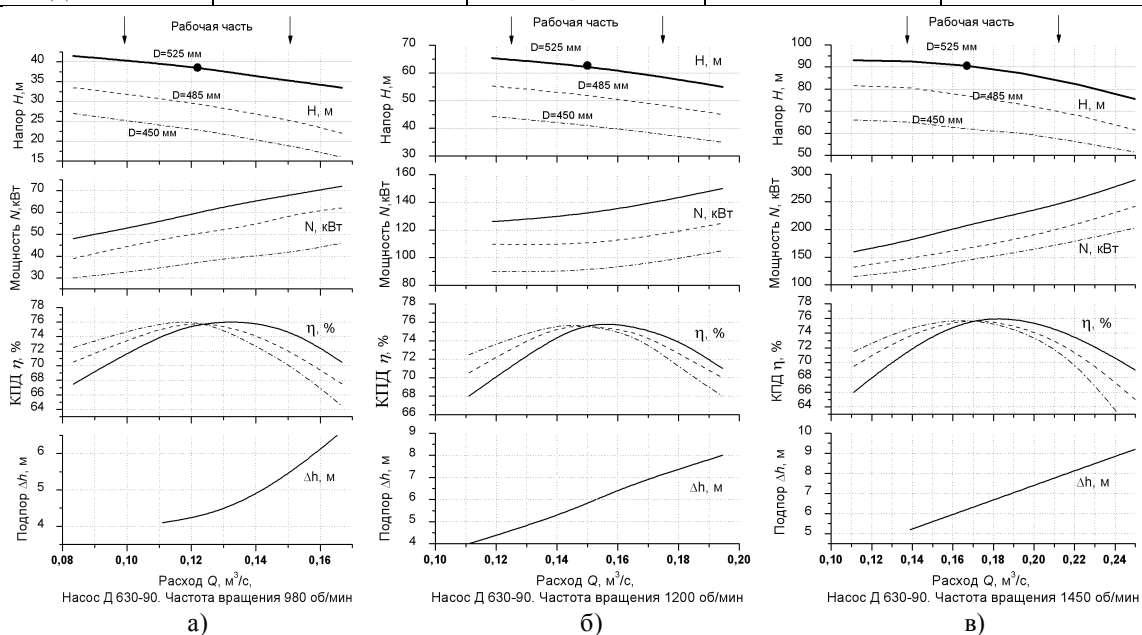


Рисунок 1 – Характеристика насоса Д630-90

Проведем анализ работы насоса. Возьмем три значения расхода, соответствующих максимальному, минимальному и среднему режиму работы насоса. Таковыми расходами являются $Q_1=0,111$ м³/с, $Q_2=0,153$ м³/с и $Q_3=0,194$ м³/с. Численные значения параметров насоса при этих значениях расходов и различных частотах вращения приведены в таблицах 2-4:

Таблица 2 – Характеристики насоса Д630-90 при $Q_1=0,111$ м³/с

Параметр	Расход $Q_1=0,111$ м ³ /с или 400 м ³ /ч								
	Частота вращения $n_1=980$ об/мин			Частота вращения $n_2=1200$ об/мин			Частота вращения $n_3=1450$ об/мин		
	450	485	525	450	485	525	450	485	525
Диаметр колеса D , мм	450	485	525	450	485	525	450	485	525
Напор H , м	24,3	30,7	39,5	45	56	66	66	81,5	93
Потребляемая мощность $N_э$, кВт	34,5	48	56	90	110	125	115	132	160
КПД η , %	<u>76,2</u>	75,5	<u>74,5</u>	71	70	68	71,5	69,5	66
Дополнительный напор $h_{доп}$, м	4,15	4,15	4,15	4	4	4	4,2	4,2	4,2
Гидравлическая мощность $N_Г=(N_э \eta/100)$, кВт	26,4	33,4	42,97	48,95	60,9	71,8	71,79	88,65	101,16
Потери мощности $\Delta N=N_э(1-\eta)$, кВт	26,3	36,24	41,72	63,9	77	85	82,2	91,74	105,6

Таблица 3 - Характеристики насоса Д630-90 при $Q_2=0,153 \text{ м}^3/\text{с}$

Параметр	Расход $Q_2=0,153 \text{ м}^3/\text{с}$ или $550 \text{ м}^3/\text{ч}$								
	Частота вращения			Частота вращения			Частота вращения		
	$n_1=980 \text{ об/мин}$			$n_2=1200 \text{ об/мин}$			$n_3=1450 \text{ об/мин}$		
Диаметр колеса D , мм	450	485	525	450	485	525	450	485	525
Напор H , м	18,5	25	35	41	52	62,5	64	79	91
Потребляемая мощность $N_э$, кВт	42	59,5	68,5	89	108	131	135	159	195
КПД η , %	69,5	71,5	74,5	74	75	76	75,7	75,3	74,2
Дополнительный напор $h_{\text{доп}}$, м	5,65	5,65	5,65	5,7	5,7	5,7	5,9	5,9	5,9
Гидравлическая мощность $N_{\Gamma}=(N_э \eta/100)$, кВт	27,7	37,49	52,479	61,48	77,97	93,71	95,96	118,45	136,4
Потери мощности $\Delta N=N_э(1-\eta)$, кВт	29,2	42,54	51,03	66,31	81	98,9	102,2	119,7	144,7

Таблица 4 – Характеристики насоса Д630-90 при $Q_3=0,194 \text{ м}^3/\text{с}$

Параметр	Расход $Q_3=0,194 \text{ м}^3/\text{с}$ или $700 \text{ м}^3/\text{ч}$								
	Частота вращения			Частота вращения			Частота вращения		
	$n_1=980 \text{ об/мин}$			$n_2=1200 \text{ об/мин}$			$n_3=1450 \text{ об/мин}$		
Диаметр колеса D , мм	450	485	525	450	485	525	450	485	525
Напор H , м	10	19	28	35	45	55	60	73	87
Потребляемая мощность $N_э$, кВт	51	64,5	70	105	125	150	160	185	230
КПД η , %	46	55	60	68	70	71	74,5	75	76,1
Дополнительный напор $h_{\text{доп}}$, м	5,65	5,65	5,65	5,7	5,7	5,7	7,2	7,2	7,2
Гидравлическая мощность $N_{\Gamma}=(N_э \eta/100)$, кВт	19	36,12	53,23	66,54	85,5	104,57	114,07	138,79	165,4
Потери мощности $\Delta N=N_э(1-\eta)$, кВт	23,5	35,48	42	71,4	87,5	106,5	119,2	138,75	175,03

Точность определения аппроксимированных значений параметров насоса, а значит и модели управления, зависит в большой степени от точности измерения параметров энергетических характеристик (расход, давление и др.). На этом вопросе мы останавливаться не будем, т.к. он требует отдельного решения. Будем считать, что точность измерения энергетических характеристик насоса нас устраивает.

Возможные резервы повышения КПД при плавном частотном регулировании в окрестностях трех рабочих точек:

$$\Delta\eta=\eta_{\text{max}}-\eta_{\text{min}} \quad (1)$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 5. Значения η_{max} , η_{min} в (1) взяты из таблиц 2–4, где они, для наглядности, выделены подчеркиванием.

Таблица 5

	$n_1=980 \text{ об/мин}$	$n_2=1200 \text{ об/мин}$	$n_3=1450 \text{ об/мин}$
$\Delta\eta$, %	76,2-74,5=1,7	76-74=2	76,1-74,5=1,6

Возможные резервы снижения затрат мощности на привод насоса, определяются по выражению:

$$\Delta N=N_{\text{cp}}\Delta\eta, \quad (2)$$

где N_{cp} – среднее значение потребляемой мощности для данной частоты вращения в рабочем диапазоне (в диапазоне максимальных КПД)

Значения ΔN занесем в таблицу 6.

Таблица 6

	$n_1=980$ об/мин	$n_2=1200$ об/мин	$n_3=1450$ об/мин
ΔN , кВт	0,017 60=1,02	0,02 140=2,8	0,016 230=3,7

Потенциальная годовая экономия в денежном эквиваленте:

$$\mathcal{E} = \Delta N \cdot T_{\text{уст}} \cdot C \quad (3)$$

где: $T_{\text{уст}} = 4500$ ч – число часов использования установленной мощности;

C – себестоимость выработки 1 кВт ч электроэнергии. Согласно [5], удельный расход топлива (уголь) на Змиевской ТЭС в 2012 г. составлял 320-380 г/кВт ч в зависимости от загрузки блока и сорта угля. Стоимость угля колеблется от 2000 до 3000 грн. Тогда можно принять $C = 0,9$ грн/кВт ч.

Таблица 7 – Потенциальная годовая экономия

	$n_1=980$ об/мин	$n_2=1200$ об/мин	$n_3=1450$ об/мин
\mathcal{E} , грн/год	4131	11340	15000

Годовой экономический эффект, показанный в табл. 7, определяет денежный эквивалент разницы в потерях энергии при 3-х частотном и плавном способе регулирования насоса.

Из экспериментальных характеристик (значения в табл. 2-4) можно также получить ряд зависимостей, которые в дальнейшем будут использованы для определения потерь энергии и создания модели управления:

1. Зависимость напора H от частоты вращения n и расхода Q при $D=525$ мм (таб.8):

Таблица 8

	$D=525$ мм			Q , м ³ /с
	n , об/мин			
	980	1200	1450	
H , м	39,5	66	93	0,111
	35	62,5	91	0,153
	28	55	87	0,194

Аппроксимируя табличные данные, получим:

$$H(Q,n) = 22,21 \cdot Q^2 \cdot n - 0,009 \cdot Q^2 \cdot n^2 - 12087 \cdot Q^2 + 0,0024 \cdot Q \cdot n^2 - 5,81 \cdot Q \cdot n + 3317,5 \cdot Q - 0,0001 \cdot n^2 + 0,193 \cdot n - 109,6 \text{ м} \quad (4)$$

2. Зависимость потребляемой мощности $N_{\mathcal{E}}$ от частоты вращения n и расхода Q при $D=525$ мм (таб.9):

Таблица 9

	$D=525$ мм			Q , м ³ /с
	n , об/мин			
	980	1200	1450	
$N_{\mathcal{E}}$, кВт	56	125	160	0,111
	68,5	131	195	0,153
	70	150	230	0,194

Аппроксимируя табличные данные, получим:

$$N_{\mathcal{E}}(Q,n) = 186,7 \cdot Q^2 \cdot n - 0,074 \cdot Q^2 \cdot n^2 - 114001,44 \cdot Q^2 + 0,025 \cdot Q \cdot n^2 - 62,03 \cdot Q \cdot n + 37360,7 \cdot Q - 0,0022 \cdot n^2 + 5,57 \cdot n - 3352,97 \text{ кВт} \quad (5)$$

3. Зависимость КПД η от частоты вращения n и расхода при $D=525$ мм (таб.10):

Таблица 10

	D=525 мм			Q, м ³ /с
	n, об/мин			
	980	1200	1450	
η, %	74,5	68	66	0,111
	74,5	76	74,2	0,153
	60	71	76,1	0,194

Аппроксимируя табличные данные, получим:

$$\eta(Q,n) = 47,6 \cdot Q^2 n - 0,019 \cdot Q^2 n^2 - 25666 \cdot Q^2 + 0,007 \cdot Q n^2 - 17,83 \cdot Q n + 10184,6 \cdot Q - 0,00058 n^2 + 1,52 n - 971,6 \% \quad (6)$$

4. Зависимость потерь мощности ΔN от частоты вращения n и расхода Q при $D=525$ мм (таб.11):

Таблица 11

	D=525 мм			Q, м ³ /с
	n, об/мин			
	980	1200	1450	
ΔN, кВт	14,28	40	54,4	0,111
	17,46	32,1	46,6	0,153
	28	43,5	54,97	0,194

Аппроксимируя табличные данные, получим:

$$\Delta N(Q,n) = 0,052 \cdot Q^2 n^2 - 135,7 \cdot Q^2 n + 81281 \cdot Q^2 - 0,016 \cdot Q n^2 + 42,64 \cdot Q n - 25830 \cdot Q + 0,00128 n^2 - 3,41 n + 2091 \text{ кВт} \quad (7)$$

Для определения закона управления насосом, аппроксимируем зависимость КПД η от расхода для различных частот вращения (табл.12):

Таблица 12

n=980 об/мин		n=1200 об/мин		n=1450 об/мин	
Q, м ³ /с	η, %	Q, м ³ /с	η, %	Q, м ³ /с	η, %
0,0833	67,5	0,111	68	0,111	66
0,111	74,5	0,1389	74,5	0,1389	72
0,125	76	0,1528	76,1	0,1667	76
0,1389	76,1	0,1667	75,5	0,1944	76,1
0,1528	74,5	0,1806	74	0,222	73,5
0,1667	70,5	0,1944	71	0,25	69

Для частоты $n=980$ об/мин получаем: $\eta = 7,643 + 1055 \cdot Q - 4057 \cdot Q^2$.

Приравняв первую производную $\eta' = 1055 - 8114 \cdot Q$ к нулю, получим значение расхода $Q = 0,1297$ м³/с, при котором КПД будет максимальным.

Для частоты $n=1200$ об/мин получаем: $\eta = -14,946 + 1153 \cdot Q - 3658 \cdot Q^2$.

Приравняв первую производную $\eta' = 1153 - 7346 \cdot Q$ к нулю, получим значение расхода $Q = 0,1576$ м³/с, при котором КПД будет максимальным.

Для частоты $n=1450$ об/мин получаем: $\eta = 13,232 + 677,54 \cdot Q - 1821 \cdot Q^2$.

Приравняв первую производную $\eta' = 677,54 - 3642 \cdot Q$ к нулю, получим значение расхода $Q = 0,186$ м³/с, при котором КПД будет максимальным.

Графически эти зависимости показаны на рис. 2.

Пересчитав число оборотов на расход, при котором будет максимальный КПД, получим зависимость экономической эффективности от расхода (рис. 3) и зависимость частоты вращения n от расхода Q , при которой будет обеспечен максимальный КПД насосной установки (рис. 4).

Закон управления:

- при аппроксимации полиномом второго порядка:

$$n(Q) = A Q^2 + B Q + C$$

$$n(Q) = 15244,4 \cdot Q^2 - 3535,47 \cdot Q + 265 \text{ об/мин} \quad (8)$$

- при линейной аппроксимации:

$$n(Q) = 8350 \cdot Q - 107,06 \text{ об/мин} \quad (9)$$

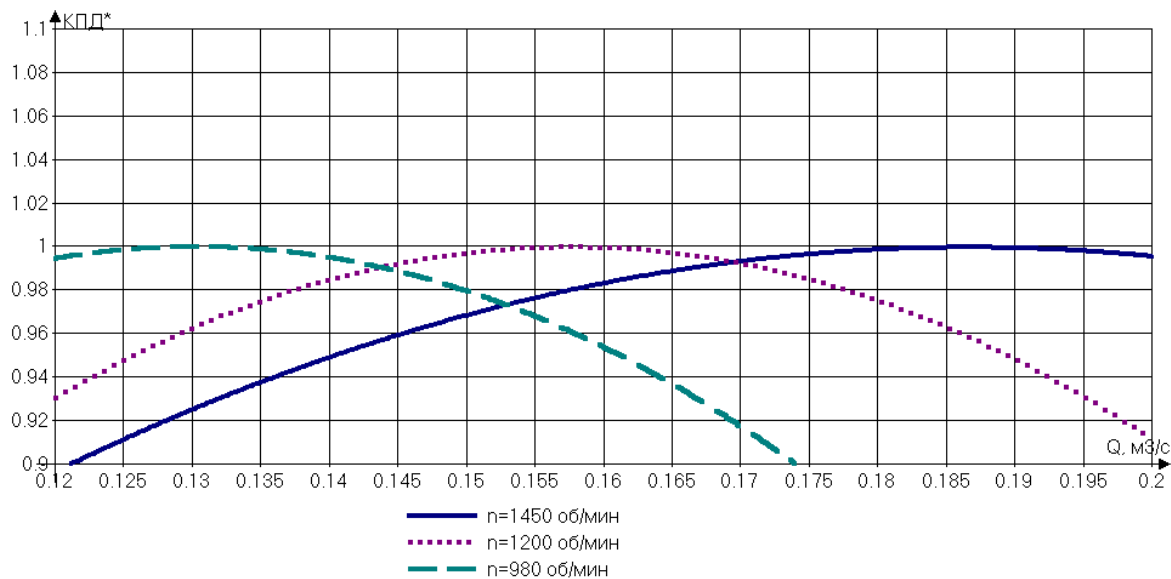


Рисунок 2 – Зависимость относительного КПД*= η/η_{max} от расхода Q для различных частот вращения

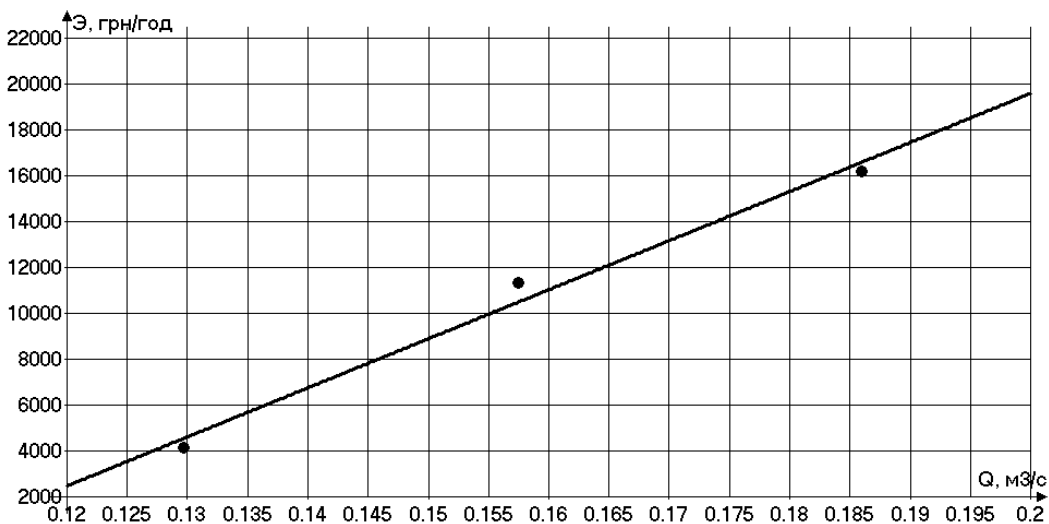


Рисунок 3 – Ожидаемая экономическая эффективность. Насос Д630-90.



Рисунок 4 - Зависимость частоты вращения n от расхода Q , при которой будет обеспечен максимальный КПД насосной установки. Насос Д630-90.

Сравним потери при дросселировании и 3-х ступенчатом частотном управлении (табл. 13). Значения потерь мощности взяты из таблиц 2-4 (экспериментальные характеристики) или получены при помощи экстраполяции для промежуточных значений расходов:

Таблица 13 – Сравнение эффективности способов управления

	Расход Q , м ³ /с				
	0,111	0,139	0,153	0,167	0,181
Потери при дросселировании, кВт	28,6	31,25	36,42	39,4	47,4
Потери при 3-х ступенчатом частотном управлении, кВт	14,28	17,5	26,8	-	-
Разница потерь, кВт	14,32	13,75	9,62	-	-
Годовой экономический эффект, грн	58 000	55 687	38 961	-	-

Как видно из табл. 13, при 3-х ступенчатом частотном управлении на малых расходах эффективность увеличивается, в то время как при плавном регулировании в окрестностях одной частоты (табл. 7) эффективность снижается по мере снижения подачи. Общий экономический эффект от применения плавного регулирования (в сравнении с дросселированием) будет равен сумме значений, взятых из таблиц 7 и 13.

Выводы

1. Экспериментальные исследования показали работоспособность алгоритмов автоматизированного энергосберегающего управления центробежными насосами, изложенных в [1-4] и экономическую целесообразность их использования.

2. Автоматизированная система управления, работающая по такому принципу, может обеспечить годовой экономический эффект при управлении, который для небольшого насоса 250 кВт составляет 50 тыс.грн./год.

Список литературы

1. Канюк Г.И., Мезеря А.Ю., Фокина А.Р., Лаптинова Е.В., Лаптин И.П. Энергосберегающее управление и повышение технико-экономической эффективности насосных установок тепловых и атомных электростанций/ Східно-Європейський журнал передових технологій. –Харків: –2012. –№. 3/8 (57). –С.58-62.

2. Канюк Г.И., Мезеря А.Ю., Михайский Д.В., Лаптин И.П., Фокина А.Р. Резервы энергосберегающего управления технологическими процессами на действующих ТЭС и АЭС. –Харьков: Изд-во «Точка», 2012. –184с. Русс. яз.

3. Канюк Г.И., Артюх С.Ф., Мезеря А.Ю., Лаптинова Е.В., Мельников В.Е. Научные принципы энергосбережения в тепловой и атомной энергетике. –Харьков: Изд-во «Точка», 2013. –140 с. Русс. яз.

4. Канюк Г.И., Мезеря А.Ю., Лаптин И.П. Модель энергосберегающего управления нагнетательными установками тепловых электростанций. Вісник НТУ «ХПІ»: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. №12(1055), 2014. – С.90-97.

1. Змиевская ТЭС. Графики исходно-нормативных удельных расходов топлива энергоблока ст. № 8. Отчет НАК «Энергетическая компания Украины», 2012.

G. Kaniuk¹, I. Babenko², A. Mezerya¹, I. Laptinov¹, V. Knyazeva¹

¹ - Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy

² -Zmiyiv thermal power stations of JSC "Centrenergo"

ENERGY SAVE FROM AUTOMATIC REGULATION CENTRIFUGAL PUMP IN POWER PLANT STATION

In article is organized analysis and data processing the experimental study of the centrifugal pump heat power station. Possible economic effect is shown when use algorithm energy saving centrifugal pump management and is determined law of such management.

The Keywords: centrifugal pump, energysave, automated managerial system

References

1. Kanyuk G.I., Mezerya A.Y., Fokina A.R., Laptinova E.V., Laptinov I.P. Energysave management and increasing to technical-economic efficiency of the pumping installation heat and atomic power station/ East-European journal leading technology. -Harkov: -2012. - . 3/8 (57) -p.58-62.

2. Kanyuk G.I., Mezerya A.Y., Mihayskiy D.V., Laptinov I.P., Fokina A.R. The Reserves energysave management technological process on acting TES and AES. -Harkov: Izd-in "Point", 2012. -184с. Russ.

3. Kanyuk G.I., Artyuh S.F., Mezerya A.Y., Laptinova E.V., Miller V.E. The Scientific principles energysave in heat and atomic energetike. -Harkov: Izd-in "Point", 2013. -140 p. Russ. .

4. Kanyuk G.I., Mezerya A.Y., Laptinov I.P. The Model of energysave management pump installation heat power station. Vesnik NTU "HPI": Energetic that teplotechnich process and management. 12(1055), 2014. - p.90-97.

5. Zmievskaaya TES. The graphs is come-normative specific expenses fuel energyblock № 8. The report NAK "Energy company of the Ukraine", 2012.

УДК 681.523

Г. І. КАНЮК¹, д-р техн. наук, проф., декан енергетичного факультету

І. А. БАБЕНКО², директор

А. Ю. Мезеря¹, кан. техн. наук, доцент, **І. П. Лаптінов¹**, асистент, **В. М. Князєва¹**, інженер

¹ – Українська інженерно-педагогічна академія

² – Зміївська тепла електрична станція Публічного акціонерного товариства «Центренерго»

РЕЗЕРВИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ АВТОМАТИЗОВАНОМУ УПРАВЛІННІ ВІДЦЕНТРОВИМИ НАСОСАМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

У статті проведено аналіз і обробку даних експериментального дослідження відцентрового насоса теплових електростанцій. Показано можливий економічний ефект від використання алгоритмів енергозберігаючого керування відцентровим насосом і визначено закон такого керування.

Ключові слова: відцентровий насос, енергозбереження, автоматизована система керування.

Надійшла 15.09.2015

Received 15.09.2015

УДК 621.317

А.В. Волошко, д-р. техн. наук., доцент кафедри електропостачання
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КІП»

КЛАСИФІКАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ЗА ВІДНОСНОЮ ЕНТРОПІЄЮ ПО РІВНЯХ ВЕЙВЛЕТ- ДЕКОМПОЗИЦІЇ

Актуальність роботи обумовлена тим, що оскільки графік електричного навантаження являє собою реалізацію випадкового процесу, то його ідентифікація повинна представляти розклад на детерміновану та випадкову складові. При цьому найбільш прийнятним математичним апаратом на даний час є ортогональні перетворення, серед яких найбільш вживаним є вейвлет-аналіз. У даній роботі представлено метод ідентифікації та класифікації інформаційних сигналів (на прикладі графіка електричних навантажень) за відотною ентропією по рівнях вейвлет-декомпозиції.

Ключові слова: графік електричного навантаження, ідентифікація, класифікація, ентропія, вейвлет-аналіз.

Вступ. Як відомо, платформою для виконання класифікації інформаційних сигналів є дискримінація, кластеризація та групування. При дискримінаційному аналізі класи задаються площинами ймовірностей або навчальними вибірками. Поняття дискримінації має декілька синонімів: розпізнавання образів, діагностика, автоматична класифікація із вчителем, статистична класифікація і т. ін. [1].

Найбільш широке поширення отримало розпізнавання образів. Під ним розуміється: побудова кластерів на основі великої кількості навчальних даних, надання кожному із кластерів відповідної мітки, асоціювання кожного об'єкту, який отриманий на вході алгоритму розпізнавання, із міткою відповідного кластеру.

На противагу цьому, при кластеризації і групуванні метою є виявлення та виділення класів. При групуванні добиваються розбиття елементів на групи, які незалежать від того, чи природні границі розбиття, чи ні [2]. Ціль полягає у виявленні груп однорідних об'єктів, які подібні поміж собою, проте