ISSN 1562-8965. The problems of general energy. 2017, 1(48): 67–73
doi: https://doi.org/10.15407/pge2017.01.067

УДК 681.523

Г.И. КАНЮК, д-р. техн. наук, профессор,
А.Ю. МЕЗЕРЯ, канд. техн. наук, доцент,
И.В. СУК, **И.А. БАБЕНКО**,
Украинская инженерно-педагогическая академия

РЕЗЕРВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УПРАВЛЕНИИ МОЩНЫМИ ВЕНТИЛЯТОРАМИ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье раскрыта сущность проблемы создания энергосберегающих систем управления вентиляторными установками и экономически обосновано их внедрение. Установлены зависимости относительного КПД от расхода для разных частот вращения и частоты вращения, обеспечивающей максимальное значение КПД, от расхода дутьевого вентилятора. На основании результатов эксперимента подтвержден экономический эффект от внедрения алгоритмов автоматизированного энергосберегающего управления дутьевым вентилятором.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дутьевой вентилятор, энергосбережение, автоматизированная система управления.

Введение. К основным потребителям собственных нужд тепловых электростанций относятся насосы и вентиляторы. На их долю приходится бульшая часть потребленной электроэнергии (до 90% затрат на собственные нужды). Кроме того, вентиляторы и насосы поддерживают необходимые параметры технологического процесса, что также сказывается на экономичности работы блока. Главная научная проблема создания энергосберегающих систем управления вентиляторными 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 вентилятора с минимальными потерями энергии.

Уменьшение внепроектных затрат энергии на собственные нужды на 5% эквивалентно экономии 15 млн гривен в год с каждой 1000 МВт. В масштабах Украины (при установленной мощности ТЭС и ТЭЦ более 20000 МВт) это составляет порядка 300 млн гривен в год.

© Г.И. КАНЮК, А.Ю. МЕЗЕРЯ, И.В. СУК, И.А. БАБЕНКО, 2017

В работах [1–4] изложены основные теоретические принципы автоматизированного энергосберегающего управления нагнетательными установками электростанций, показаны алгоритмы, функциональные и структурные схемы такого управления. Согласно теоретическим исследованиям, использование предложенных методик позволит получить значительный экономический эффект. Целью настоящего исследования является экспериментальное определение резервов энергосбережения при использовании такой АСУ при управлении дутьевым вентилятором, являющимся ответственным потребителей собственных нужд. Экспериментальные исследования проводились на базе Змиевской ТЭС.

Изложение основного материала

Для исследования возможного энергосбережения проведем анализ работы дутьевого вентилятора.

Таблица 1 – Паспортные данные дутьевого вентилятора

Тип	Номинальная мощность двигателя $N_{дв}$, кВт	Расход Q, м^3/ч (м^3/с)	Напор H, мм в.ст.	Частота вращения n, об./мин	Количество на котел	Тип электродвигателя
ВД-32Н	360/620	400000 (111,11)	400	497/599	2	ДАЗО-1914-10/12

Дутьевым вентилятором на Змиевской ТЭС является насос типа ВД-32Н Подольского машиностроительного завода, номинальной мощностью 620 кВт. Основные паспортные данные дутьевого вентилятора приведены в табл. 1.

Регулирование дутьевого вентилятора осуществляется путем переключения обмоток двигателя из треугольника в звезду.

Экспериментальные характеристики вентилятора ВД-32Н приведены в табл. 2. и на рис. 1.

Температура T = 15 °С, давление P = = 760 мм рт.ст.

Из экспериментальных характеристик получаем:

1. Зависимость напора H от частоты вращения n и расхода Q:

	n, c^{-1}			Q, м^3/с
	8,28	9,17	10	
H, м	199,2	259,6	320	75,15
	206,3	296,4	364	93,75
	193,3	286,5	392	112,5

Аппроксимируя табличные данные, получаем:

$$H(Q, n) = 1{,}573\cdot10^{-5}\cdot Q^2\cdot n^2 - 0{,}017187\cdot Q^2\cdot n^2 + 4{,}627\cdot Q^2 - 0{,}00287\cdot Q\cdot n^2 + 3{,}1566\cdot Q\cdot n - 854{,}38\cdot Q - 0{,}12755\cdot n^2 - 139{,}88\cdot n + 37933{,}5, \text{ м}.$$

Таблица 2 – Экспериментальные характеристики дутьевого вентилятора ВД-32Н

Расход Q, м^3/с	Напор H, м			Мощность N, кВт			КПД η, %			Напор сети H_c, м	Потери при дросселировании $\Delta N_{др}$, кВт	Потери при частотном управлении $\Delta N_ч$, кВт
	Частота вращения n, c^{-1}			Частота вращения n, c^{-1}			Частота вращения n, c^{-1}					
	24,2	20	16,3	24,2	20	16,3	24,2	20	16,3			
37,5	224	178,1	132,1	238	194,2	145,9	41,55	40,47	39,97		139,1	87,6
56,25	260	215,7	171,3	285	235,6	186,1	60,41	60,62	60,95		112,8	
75,15	320	259,6	199,2	382	308,7	235,4	73,7	73,25	73,71	198	100,5	82,6
93,75	364	296,4	206,3	508	409,3	310,5	79,08	77,93	73,33	301	106,3	90,3
112,5	392	286,5	193,3	645	511,7	378,4	80,49	74,15	67,65	385	125,8	125,8
131,25	372	264,8	169,6	745	592,3	435,5	77,15	69,08	60,17		170,2	170,2

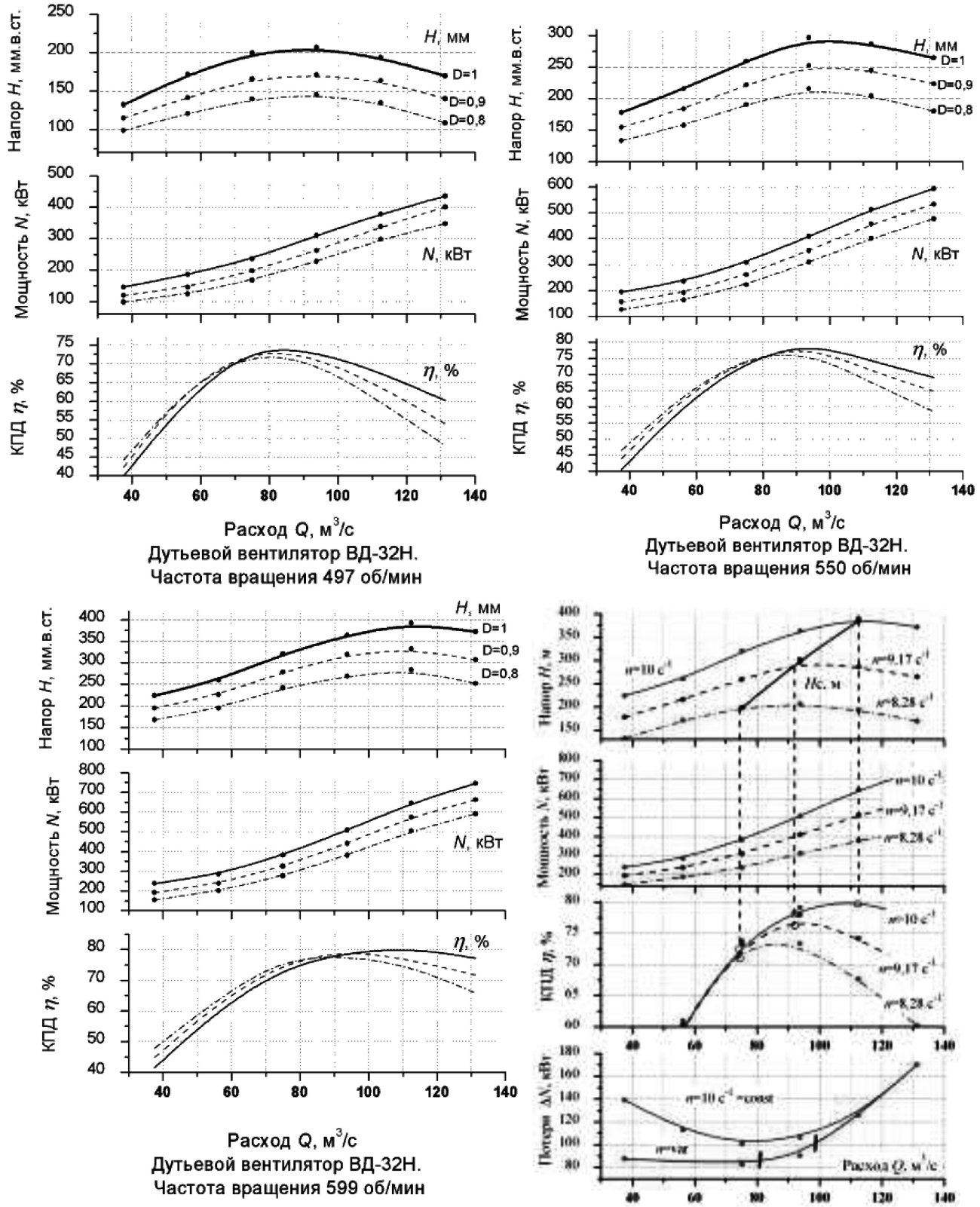

Рис. 1. Экспериментальные характеристики дутьевого вентилятора ВД-32Н при разных диаметрах колес и частотах вращения

2. Зависимость потребляемой мощности $N_э$ от частоты вращения:

	n, c^{-1}			Q, $м^3/с$
	8,28	9,17	10	
$N_э$, кВт	235,4	308,7	382	75
	310,5	409,25	508	93,75
	378,4	511,7	645	112,5

Аппроксимируя табличные данные, получаем:

$N_э(Q, n) = 1{,}954\cdot10^{-7}\cdot Q^2\cdot n^2 + 3{,}958\cdot10^5\cdot Q^2\cdot n\ 0{,}078186\cdot Q^2 - 1{,}2483\cdot10^5\cdot Q\cdot n^2 -$
$- 0{,}0025278\cdot Q\cdot n + 10{,}073\cdot Q + 0{,}00094377\cdot n^2 + 0{,}19111\cdot n + 465{,}1$, кВт.

3. Зависимость КПД η от частоты вращения n и расхода Q при $D^* = 1$:

	n, c^{-1}			Q, $м^3/с$
	8,28	9,17	10	
η, %	73,71	73,25	73,7	75,15
	73,33	77,93	79,08	93,75
	67,65	74,15	80,49	112,5

Аппроксимируя табличные данные, получаем:

$\eta(Q, n) = 4{,}0776\cdot10^{-6}\cdot Q^2\cdot n^2 - 0{,}0044614\cdot Q^2\cdot n + 1{,}204\cdot Q^2 - 0{,}0007635\cdot Q\cdot n^2 + 0{,}8389\cdot Q\cdot n -$
$- 227{,}39\cdot Q + 0{,}03435\cdot n^2 - 37{,}86\cdot n + 10368{,}384$, %.

4. Разница потерь мощности ΔN при дроссельном и частотном управлении:

Потери $\Delta N_{др}$ при дросселировании, кВт	Потери $\Delta N_ч$ при частотном управлении, кВт	Разница потерь, кВт
139,1	87,6	51,5
112,8		
100,5	82,6	17,9
106,3	90,3	16
125,8	125,8	0
170,2	170,2	0

Возможные резервы снижения затрат мощности на привод вентилятора:

	$n_1 = 8{,}28\ с^{-1}$	$n_2 = 9{,}17\ с^{-1}$	$n_2 = 10\ с^{-1}$
ΔN, кВт	382-235,4=146,6	508-409,25=98,75	0

Для определения закона управления вентилятором, аппроксимируем зависимость КПД η от расхода для различных частот при открытой задвижке (рис. 2):

$n_2 = 8{,}28$ с$^{-1}$		$n_2 = 9{,}17$ с$^{-1}$		$n_3 = 10$ с$^{-1}$	
Q, м^3/с	η	Q, м^3/с	η	Q, м^3/с	η
37,5	39,97	37,5	40,47	37,5	41,55
56,25	60,95	56,25	60,62	56,25	60,41
75,15	73,71	75	74,25	75	73,7
93,75	73,33	93,75	77,93	93,75	79,08
112,5	67,65	112,5	74,15	112,5	80,49
131,25	60,17	131,25	69,08	131,25	77,15

Для частоты $n = 8{,}26\ c^{-1}$ получаем $\eta = -28{,}26 + 2{,}408 \cdot Q - 0{,}1413 \cdot Q^2$.

Приравняв первую производную $\eta' = 2{,}408 - 0{,}02826 \cdot Q$ к нулю, получим значение расхода $Q = 85$ м^3/с, при котором КПД будет максимальным.

Для частоты $n = 9{,}17\ c^{-1}$ получаем $\eta = -20{,}987 + 2{,}035 \cdot Q - 0{,}0105 \cdot Q^2$.

Приравняв первую производную $\eta' = 2{,}035 - 0{,}021 \cdot Q$ к нулю, получим значение расхода $Q = 96$ м^3/с, при котором КПД будет максимальным.

Для частоты $n = 10\ c^{-1}$ получаем $\eta = -11{,}903 + 1{,}7385 \cdot Q - 0{,}0081 \cdot Q^2$.

Приравняв первую производную $\eta' = 1{,}7385 - 0{,}0162 \cdot Q$ к нулю, получим значение расхода $Q = 107{,}3$ м^3/с, при котором КПД будет максимальным.

Пересчитав число оборотов на расход, при котором будет максимальный КПД, получим зависимость частоты вращения n от расхода Q, при которой будет обеспечен максимальный КПД вентилятора (рис. 3).

Закон управления:

– при аппроксимации полиномом второго порядка:

$n(Q) = AQ^2 + BQ + C$;

$n(Q) = 1{,}9267 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2 + 0{,}03912 \cdot Q + 3{,}5605\ c^{-1}$;

– при линейной аппроксимации: $n(Q) = 0{,}076183 \cdot Q + 1{,}8\ c^{-1}$.

Возможные резервы снижения потерь в дутьевом вентиляторе показаны на рис. 4.

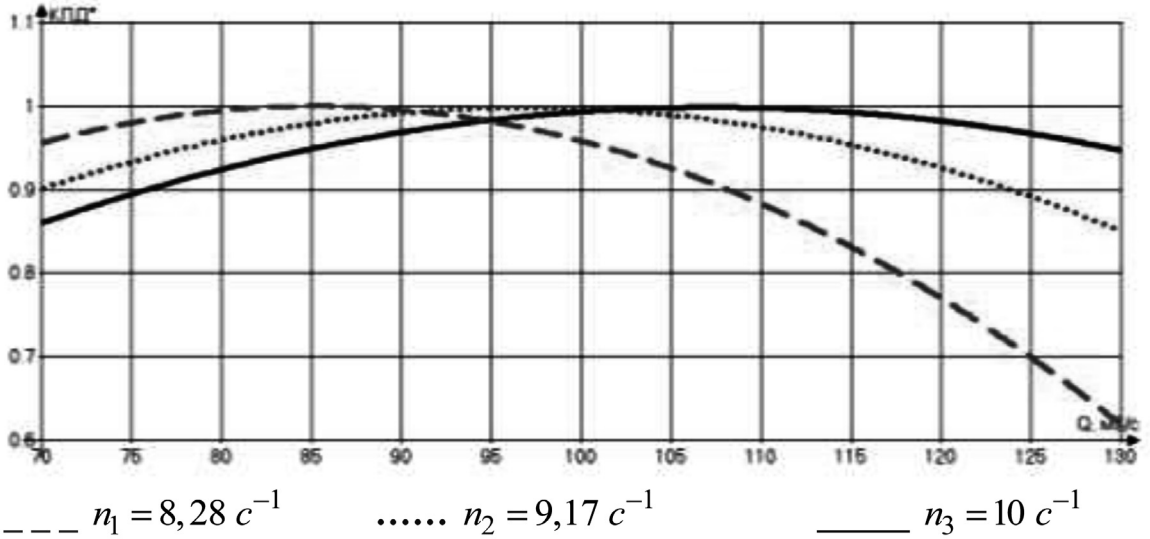

Рис. 2. Зависимость относительного $КПД' = \eta / \eta_{макс}$ от расхода Q для разных частот вращения

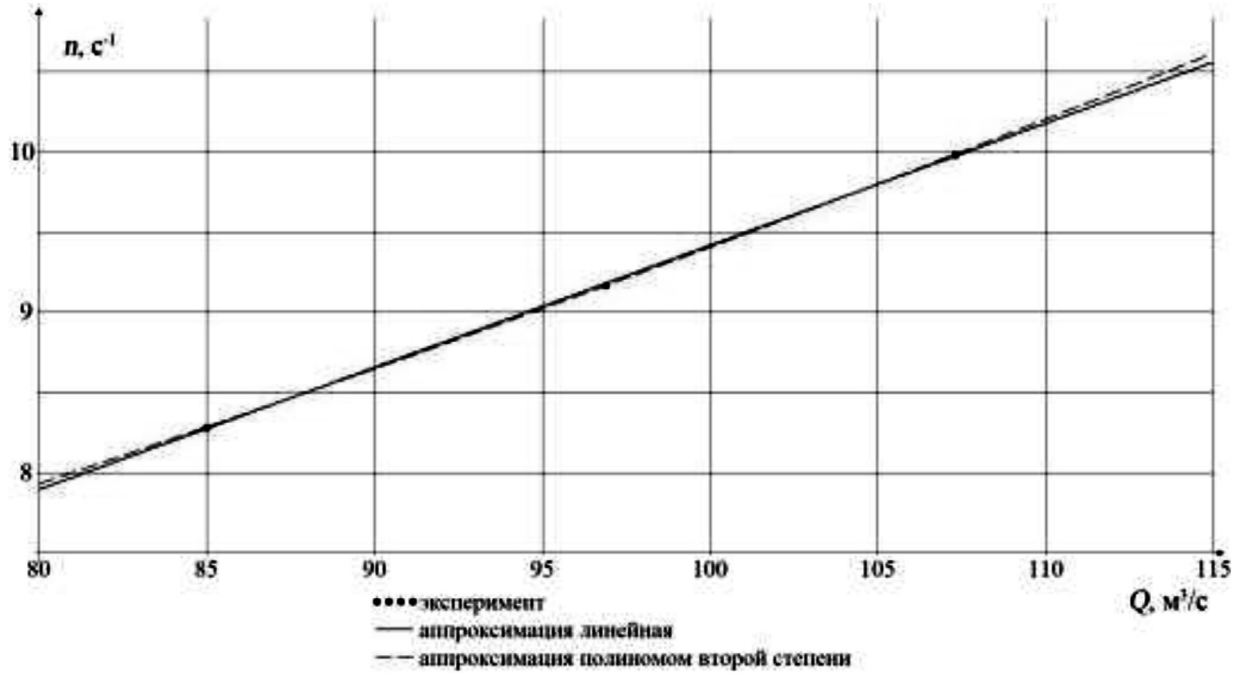

Рис. 3. Зависимость частоты вращения, обеспечивающей максимальное значение КПД, от расхода дутьевого вентилятора ВД-32Н

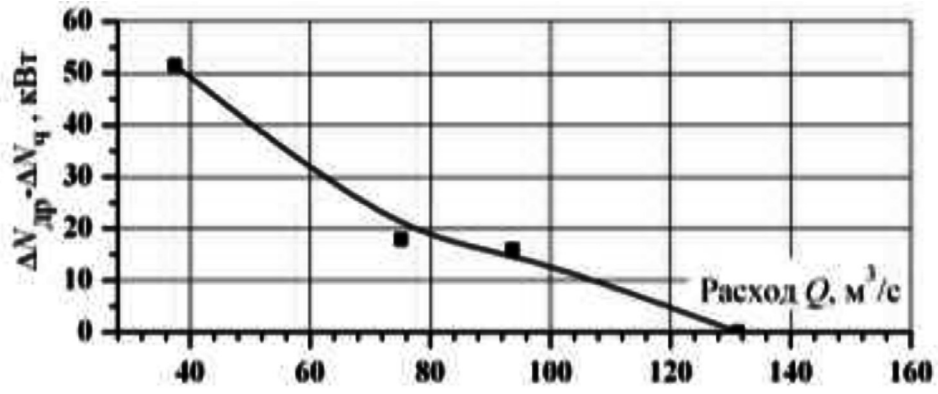

Рис. 4. Ожидаемая экономическая эффективность плавного частотного управления дутьевым вентилятором ВД-32Н

Потенциальная годовая экономия в денежном эквиваленте:

$$Э = \Delta N_{ср} \cdot T_{раб} \cdot Ц,$$

где $T_{раб}$ = 8000 ч – число часов работы нагнетателя;

$Ц$ = 0,9 грн/кВт·ч – себестоимость выработки 1 кВт·ч электроэнергии,

$\Delta N_{ср}$ – среднее значение эффекта. При равномерном распределении режимов работы вентилятора в течение года, можно укрупнено принять: $\Delta N_{ср} = (\Delta N_{ср}^{max} - \Delta N_{ср}^{min}) / 2$. Тогда

$$\Delta N_{ср} = (\Delta N_{ср}^{max} - \Delta N_{ср}^{min}) / 2 = (51{,}5 + 0) / 2 = 25{,}75 \text{ кВт·ч}.$$

$$Э_{дв} = 25{,}75 \cdot 8000 \cdot 0{,}9 = 185\,400 \text{ грн}.$$

ВЫВОДЫ

Проведенные экспериментальные исследования показали, что годовой экономический эффект от внедрения алгоритмов автоматизированного энергосберегающего управления дутьевым вентилятором может составить порядка 180 тыс. грн/год, что подтверждает справедливость теоретических предпосылок, изложенных в [1–4] и экономическую целесообразность их использования.

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

2. Канюк Г.И., Мезеря А.Ю., Михайский Д.В., Лаптинов И.П., Фокина А.Р. Резервы энергосберегающего управления технологическими процессами на действующих ТЭС и АЭС. Харьков: Изд-во «Точка». 2012.184 с.

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.

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

Надійшла до редколегії 16.02.2017