DOI: 10.17117/na.2015.11.03.356

<http://ucom.ru/doc/na.2015.11.03.356.pdf>

Поступила (Received): 09.11.2015

Савченко А.В., Безъязычный С.Д.
Адаптация методики расчета КПД и эффективности
использования электроэнергии автоматизированным
электроприводом в составе автоматизированной
системы управления технологическим процессом
водоснабжения трехэтажного жилого дома

Savchenko A.V., Bezyazichny S.D.
Adaptation of the method of calculation of degree of efficiency and
effectiveness of the use of electricity automated electric drive as a
part of automated control system of technological process of water-
supply of three-storey residential building

Предлагаемая авторами адаптированная методика расчета КПД и эффективности использования электроэнергии автоматизированным электроприводом (АЭП) позволяет выявлять оптимальные (по технологическим критериям и критериям энергетической эффективности) режимы работы АЭП в составе автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП) водоснабжения трехэтажного жилого дома (ВТЖД)

Ключевые слова: метод, энергосбережение, эффективность использования электроэнергии, экономия электроэнергии, рациональное использование энергетических ресурсов, автоматизированная система управления, автоматизированный электропривод, технологические процессы, водоснабжение, водоотведение, обратное водоснабжение, АСУ ТП, АЭП, КПД

Савченко Александр Владимирович
 Кандидат технических наук, доцент
 Южно-Российский государственный
 политехнический университет им. М.И. Платова
 г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Proposed by the authors adapted method of calculation of degree of efficiency and effectiveness of the use of electricity automated electric drive (AED) allows to detect the optimal modes (according to the technological criterias and to the criteria of energy efficiency) of operation the AEDs as a part of the automated control system of technological process (ACS TP) of water-supply of three-storey residential building (WSTSRB)

Key words: method, energy conservation, energy efficiency, energy saving, rational use of energy resources, automated control system, automated electric drive, industrial processes, water supply, drainage, circulating water, ACS TP, AED, degree of efficiency

Savchenko Aleksandr Vladimirovich
 Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
 South-Russian state technical university named M.I. Platov
 Novocherkassk, Prosveshcheniya st., 132

Безъязычный Сергей Дмитриевич
Студент
Южно-Российский государственный
политехнический университет им. М.И. Платова
г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Bezyazichny Sergey Dmitrievich
Student
South-Russian state technical university named M.I.
Platov
Novocherkassk, Prosveshcheniya st., 132

С целью определения оптимального (по энергетическим и технологическим показателям) режима работы АЭП в составе АСУ ТП ВТЖД и развития основных положений, изложенных в [1-13], авторами предложена адаптированная методика расчета КПД и эффективности использования электроэнергии АЭП в составе АСУ ТП ВТЖД. Алгоритм математической обработки результатов физического моделирования АСУ ТП ВТЖД заключается в следующем порядке определения промежуточных значений.

1. Продолжительность потребления воды физической моделью (ФМ) АСУ ТП ВТЖД:

$$\Delta t_i = (T_i - T_{i-1}) \cdot 60^{-2}, \text{ ч}, \quad (1)$$

где $T_i, \text{ с}$ – показания секундомера.

2. Объём потребленной воды:

$$\Delta V_i = (V_i - V_{i-1}) \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где V_i – показания расходомера.

3. Подача:

$$Q_i = \frac{\Delta V_i \cdot 10^{-3}}{\Delta t_i}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (3)$$

4. Вес потребленной воды:

$$G_i = \rho \cdot \Delta V_i \cdot 10^{-3} \cdot g, \text{ Н}, \quad (4)$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность чистой воды, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

5. Значение напора:

$$H_i = \frac{p_i \cdot 10^5}{\rho \cdot g}, \text{ м}, \quad (5)$$

где $p_i, \text{ бар}$ – показания манометра.

6. Полезная механическая энергия, затраченная непосредственно на подъем чистой воды на заданную высоту с преодолением сил трения в трубопроводе:

$$W_{\text{АСУ ТП ВТЖД полез } i} = \frac{H_i \cdot G_i}{3,6 \cdot 10^5}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (6)$$

7. КПД ФМ АСУ ТП ВТЖД:

$$\eta_{\text{АСУ ТП ВТЖД } i} = \frac{W_{\text{АСУ ТП ВТЖД полез } i}}{W_i \cdot 10^{-3}}, \text{ отн. ед}. \quad (7)$$

8. В зависимости от текущих значений Q_i и H_i значение КПД НА ($\eta_{НА i}$, отн.ед.) определяется по кривой $\eta_{та}$, % приведенной в паспорте НА [14] или программно с помощью онлайн программы WebCAPS [15] или программы WinCAPS [16].

9. Относительное значение производительности ФМ АСУ ТП ВТЖД:

$$\alpha_i = \frac{A_i}{A_{ном}}, \text{ отн. ед.}, \quad (8)$$

где $A_i = Q_i$ – абсолютное значение производительности ФМ АСУ ТП ВТЖД, м³/ч; $A_{ном} = Q_{ном} = 2,52$ м³/ч – номинальная производительность ФМ АСУ ТП ВТЖД.

10. Коэффициент мощности ФМ АСУ ТП:

$$\xi_i = \frac{P_{АСУ ТП ВТЖД ном}}{P_i}, \text{ отн. ед.}, \quad (9)$$

где $P_i = W_i / \Delta t_i$ – полная потребляемая (из сети) мощность ФМ АСУ ТП ВТЖД, кВт; $P_{АСУ ТП ВТЖД ном}$ – номинальная мощность ФМ АСУ ТП ВТЖД. При этом номинальный расход электроэнергии при реализации принципа неуправляемого НА (а) и принципа регулирования дросселированием (б) определяется по формуле:

$$P_{АСУ ТП ВТЖД ном} \approx P_{НА ном}, \quad (10)$$

а при реализации принципа автоматизированного регулирования (в) определяется по:

$$P_{АСУ ТП ВТЖД ном} \approx P_{НА ном} / \eta_{ПЧ ном}, \quad (11)$$

где $P_{НА ном} = 0,95$ кВт – номинальная мощность НА, $\eta_{ПЧ ном} = 0,95$ – номинальный КПД ПЧ.

11. Коэффициент загрузки ФМ АСУ ТП ВТЖД:

$$\beta_i = \frac{W_{АСУ ТП ВТЖД полез i}}{W_{АСУ ТП ВТЖД полез ном}}, \text{ отн. ед.}, \quad (12)$$

где $W_{АСУ ТП ВТЖД полез i} = W_{АСУ ТП ВТЖД полез i} / A_i$ – значение удельной потребляемой энергии из сети, кВт·ч²/м³; $W_{АСУ ТП ВТЖД полез ном} = W_{АСУ ТП ВТЖД полез ном} / A_{ном} = 0,257 / 2,52 = 0,1$ кВт·ч²/м³ – значение удельной «полезной энергии» (механической); $W_{АСУ ТП ВТЖД полез ном} = 0,257$ кВт·ч – значение «полезной энергии» затраченной непосредственно на подъем установленного объема чистой воды на заданную высоту с преодолением сил трения в трубопроводе, определенное по (6) при номинальных значениях подачи $Q_{ном} = 2,52$ м³/ч и напора $H_{ном} = 37,5$ м.

12. Эффективность использования электроэнергии:

$$\varepsilon_i = \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \xi_i, \text{ отн. ед.} \quad (13)$$

13. Суммарная продолжительность процесса моделирования для заданного принципа регулирования – а), б) или в):

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^8 \Delta t_i, \text{ ч.} \quad (14)$$

14. Суммарный объем потребленной воды:

$$V_{\Sigma} = \sum_{i=1}^8 \Delta V_i, \text{ м}^3. \quad (15)$$

15. Среднее арифметическое значение подачи воды за весь период моделирования заданного принципа регулирования:

$$Q_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^8 Q_i}{8}, \text{ м}^3. \quad (16)$$

16. Суммарный вес потребленной воды:

$$G_{\Sigma} = \sum_{i=1}^8 G_i, \text{ Н}. \quad (17)$$

17. Среднее арифметическое значение напора:

$$H_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^8 H_i}{8}, \text{ м}^3. \quad (18)$$

18. Суммарный объём полезной механической энергии, израсходованной непосредственно на подъем чистой воды на заданную высоту с преодолением сил трения в трубопроводе, потребленной ФМ АСУ ТП ВТЖД за весь период процесса моделирования принципа регулирования:

$$W_{АСУ\ ТП\ ВТЖД\ полез\ \Sigma} = \sum_{i=1}^8 W_{АСУ\ ТП\ ВТЖД\ полез\ i}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (19)$$

19. Суммарный объём полной электрической энергии, потребленной ФМ АСУ ТП ВТЖД:

$$W_{АСУ\ ТП\ ВТЖД\ \Sigma} = \sum_{i=1}^8 W_i, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (20)$$

20. Итоговое значение КПД ФМ АСУ ТП ВТЖД за весь период процесса моделирования заданного принципа регулирования:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{W_{АСУ\ ТП\ ВТЖД\ полез\ \Sigma}}{W_{АСУ\ ТП\ ВТЖД\ \Sigma}}, \text{ отн. ед.} \quad (21)$$

21. Среднее арифметическое значение КПД НА:

$$\eta_{НА\ cp} = \frac{\sum_{i=1}^8 \eta_{НА\ i}}{8}, \text{ отн. ед.} \quad (22)$$

22. Среднее арифметическое значение производительности ФМ АСУ ТП ВТЖД за весь период процесса моделирования:

$$A_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^8 A_i}{8}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (23)$$

23. Относительное среднее значение производительности ФМ АСУ ТП ВТЖД:

$$\alpha_{cp} = \frac{A_{cp}}{A_{ном}}, \text{ отн. ед.} \quad (24)$$

24. Итоговое значение коэффициента мощности ФМ АСУ ТП ВТЖД для заданного принципа регулирования:

$$\xi_{\Sigma} = \frac{W_{АСУ ТП ВТЖД ном}}{W_{АСУ ТП ВТЖД \Sigma}}, \text{ отн. ед.} \quad (25)$$

25. Итоговое значение коэффициента загрузки ФМ АСУ ТП ВТЖД для заданного принципа регулирования:

$$\beta_{\Sigma} = \frac{W_{АСУ ТП ВТЖД полез \Sigma}}{W_{АСУ ТП ВТЖД полез ном}}, \text{ отн. ед.} \quad (26)$$

26. Итоговое значение эффективности использования электроэнергии ФМ АСУ ТП ВТЖД для заданного принципа регулирования:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \alpha_{cp} \cdot \beta_{\Sigma} \cdot \xi_{\Sigma}, \text{ отн. ед.} \quad (27)$$

С целью удобства анализа авторами предложено представлять полученные расчетные и экспериментальные характеристики ФМ АСУ ТП ВТЖД в табличном виде (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Расчетные и экспериментальные характеристики ФМ АСУ ТП ВТЖД

№ пп	Характеристика	Порядковый номер измерения <i>i</i>							
		1	2	3	4	5	6	7	8
а) принцип неуправляемого НА									
1	$\Delta t_i, 10^{-2} \text{ ч}$	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
2	$\Delta V_i, 10^{-2} \text{ м}^3$	3,40	3,00	3,10	3,00	2,90	2,80	2,70	0
3	$Q_i, \text{ м}^3/\text{ч}$	2,04	1,80	1,86	1,80	1,74	1,68	1,62	0
4	$G_i, \text{ Н}$	333	294	304	294	284	274	265	0
5	$H_i, \text{ м}$	10,2	11,2	11,2	15,3	15,3	18,4	22,4	40,8
6	$W_{\text{АСУ ТП ВТЖД полез } i}, 10^{-4} \text{ кВт} \cdot \text{ч}$	9,44	9,17	9,47	12,50	12,08	14,00	16,50	0
7	$\eta_{\text{АСУ ТП ВТЖД } i}, 10^{-3} \text{ отн. ед.}$	1,29	1,26	1,30	1,74	1,69	1,96	2,37	0
8	$\eta_{\text{НА } i}, \text{ отн. ед.}$	0,450	0,436	0,440	0,436	0,431	0,427	0,422	0
9	$\alpha_i, \text{ отн. ед.}$	0,816	0,720	0,744	0,720	0,696	0,672	0,648	0

№ пп	Характеристика	Порядковый номер измерения i							
		1	2	3	4	5	6	7	8
10	P_i , кВт	0,732	0,730	0,729	0,720	0,714	0,714	0,695	0,440
11	ξ_i , отн. ед.	1,298	1,301	1,303	1,319	1,331	1,331	1,367	2,159
12	$W_{АСУ ТП}$ $ВТЖД_{\text{полез } i}$, 10^{-4} кВт·ч ² /м ³	4,63	5,09	5,09	6,94	6,94	8,33	10,19	0
13	β_i , 10^{-3} отн. ед.	4,54	4,99	4,99	6,80	6,80	8,16	9,98	0
14	ε_i , 10^{-3} отн. ед.	1,39	1,339	1,313	1,359	1,29	1,282	0,778	0
б) принцип регулирования дросселированием									
...									
14	ε_i , 10^{-3} отн. ед.	1,24	1,19	1,07	0,98	0,99	0,95	0,46	0
в) принцип автоматизированного регулирования									
...									
14	ε_i , 10^{-3} отн. ед.	2,70	2,80	2,78	3,21	2,85	2,93	2,14	0

Таблица 2. Сводная таблица характеристик АСУ ТП ВТЖД при реализации различных принципов регулирования

Характеристика	Принцип регулирования		
	а)	б)	в)
T_z , 10^{-2} ч	13,4	13,4	13,4
V_z , 10^{-2} м ³	20,9	17,2	16,9
Q_{cp} , м ³ /ч	1,57	1,29	1,27
G_z , Н	2048	1684	1656
H_{cp} , м	10,2	10,2	10,2
$W_{АСУ ТП ВТЖД_{\text{полез } z}}$, 10^{-4} кВт·ч	5474	5202	1775
W_z , кВт·ч	58,1	47,8	46,9
η_z , 10^{-3} отн. ед.	0,83	0,75	0,96
ε_z , 10^{-3} отн. ед.	1,06	0,92	2,64

С применением адаптированной методики авторам впервые удалось определить оптимальный (энергоэффективный) режим работы технологической установки с учетом показателей α , β , ξ (параметров, характеризующих режим работы, параметры ТП и технологической установки) и, следовательно, целенаправленно принять меры для их улучшения. Также с применением адаптированной методики появилась возможность проводить сравнительный анализ энергетической эффективности режимов работы любой технологической установки (в составе АЭП или АСУ ТП) или сравнительный анализ энергетической эффективности различных установок, учитывая технологические особенности режимов работы каждой из них. При этом в ряде случаев, когда удастся точно определить численное значение $W_{\text{полез}}$, затраченной непосредственно на реализацию ТП (посредством АСУ ТП или АЭП) в качестве показателя энергетической

эффективности ТП целесообразно использовать характеристику мгновенных значений η , определенных по (7) – в качестве альтернативы показателю ε . В случае же получения неоднозначных данных по η и ε , определяющими являются значения ε .

Список используемых источников:

1. Богданов Д.Ю., Катюхина Д.И., Савченко А.В. Методика расчета эффективности использования электроэнергии в автоматизированных электроприводах систем водоснабжения и // *Электромеханика*. 2014. №3. С. 67-70.
2. Савченко А.В., Зюбровский Л.Г., Пятибратов Г.Я. Повышение производительности технологической установки с учетом эффективности использования электроэнергии электроприводом // *Изв. вузов. Электромеханика*. 2003. № 5. С. 46-49.
3. Савченко А.В. Показатели эффективности использования электроэнергии технологических установок с электроприводом // *Новые технологии управления движением технических. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2004. Вып. 5. С. 62-65.*
4. Савченко А.В., Луценко А.С., Добродей В.Н. Экономия электроэнергии в системах автоматизированного управления технологическим процессом водоснабжения // *Студенческая научная весна-2015. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2015. С. 120-121.*
5. Савченко А.В., Никифоров Б.В., Апилов В.Р., Темирев А.П., Гайдай Б.В., Чугунов В.И., Федоров А.Е., Цветков А.А. Эффективность использования электроэнергии и энергосбережение средствами современного электропривода // *Силовая электроника в бортовых системах электроснабжения и электроприводах. Ростов н/Д: Ирис, 2003. С. 76-78.*
6. Савченко А.В., Зюбровский Л.Г. Методы оптимизации и экономного потребления электроэнергии при металлообработке. Новочеркасск, 2002. 25 с.
7. Савченко А.В., Колчанов И.С., Шалыто А.А. Исследование законов управления насосными агрегатами в системе жилищно-коммунального хозяйства // *Мехатроника и робототехника. Современное состояние и тенденции развития. Новочеркасск: ЛИК, 2010. С. 135-139.*
8. Савченко А.В., Зюбровский Л.Г. Метод исследования потребления электроэнергии // *Интеллект молодых – новому веку. Новочеркасск: Набла, 2001. С. 118-119.*
9. Савченко А.В., Зюбровский Л.Г. Метод исследования потребления и эффективности использования электроэнергии основными приводами металлорежущих станков // *Кибернетика электрических систем. Новочеркасск: Изв. вузов. Электромеханика, 2002. С. 28-29.*
10. Савченко А.В., Зюбровский Л.Г. Расчёт эффективности использования электроэнергии металлорежущими станками (на примере токарной обработки) Интеллектуальные электромеханические устройства, системы и комплексы. Новочеркасск: ТЕМП, 2002. С. 34-35.
11. Савченко А.В., Зюбровский Л.Г. Оптимизация потребления электроэнергии основными электроприводами металлорежущих. Новочеркасск: УПЦ Набла, 2003. С. 155-156.
12. Савченко А.В., Пятибратов Г.Я., Зюбровский Л.Г. Интенсификация технологического процесса – один из важнейших путей повышения эффективности использования электроэнергии // *Интеллектуальные электромеханические устройства, системы и комплексы. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2003. С. 44-45.*
13. Богданов Д.Ю., Катюхина Д.И., Савченко А.В. Методика расчета эффективности использования электроэнергии в автоматизированных электроприводах систем водоснабжения и водоотведения // *Электромеханика*. 2014. №3. С. 67-70.

© 2015, Савченко А.В., Безъязычный С.Д.
Адаптация методики расчета КПД и
эффективности использования электроэнергии
автоматизированным электроприводом в составе
автоматизированной системы управления
технологическим процессом водоснабжения
трехэтажного жилого дома

© 2015, Savchenko A.V., Bezyazichny S.D.
Adaptation of the method of calculation of degree of
efficiency and effectiveness of the use of electricity
automated electric drive as a part of automated
control system of technological process of water-
supply of three-st