

УДК 621. 182.2.001.57

## **ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

**Е.Е. Чайковская**

*Одесский национальный политехнический университет*

Существующие системы управления, в том числе экспертные диагностические системы на уровне принятия решений не используют в полной мере свойств энергетических систем, которые отвечают требованиям синергетических, т.е. способных к самоорганизации. Это открытость энергетических систем, обменивающихся с окружающей средой веществом, энергией и информацией. Это их неравновесность и нелинейность, когда при достижении системой порога устойчивости, состояния бифуркации перед ней открывается несколько, более чем один возможный путь развития [1, 2-6].

Известные системы управления не способны прогнозировать экономно-энергетическое развитие энергетических систем, т.к. не управляют их самоорганизацией. Управление самоорганизацией энергетических систем возможно лишь на основе функционального диагностирования производства и потребления энергии в соотношении в едином информационном пространстве [2 -6].

Разработана и апробирована синергетическая теория диагностики энергетических систем для поддержания их функционирования на основе экспертной системы с использованием согласованного взаимодействия динамической подсистемы как основы, блоков диагностирования ситуации, надежности и эффективности. Представлено обоснование математического моделирования динамической подсистемы –энергетической системы с использованием положений неравновесной термодинамики. Представлено обоснование контроля работоспособности энергетической системы на основе разработанного графа причинно-следственных связей [2-6].

Определен допуск в качестве упорядоченной, пространственно-временной информационной структуры и установлен принцип интеллектуального управления [3].

Так, исходя из теории Л. Онсагера, установлено, что допуск – информационная, упорядоченная, пространственно-временная структура, которая представляет качественную и количественную оценку способности системы к выживанию при взаимодействии с окружающей средой. В диапазоне допуска открытая система, какой является энергетическая система, обменивающаяся с окружающей средой веществом, энергией и информацией владеет внутренней активностью, определенной данному уровню функционирования скоростью диссипативных процессов.

Исходя из теории Л. Онсагера, установлено, что равенство перекрестных коэффициентов в термодинамических уравнениях движения для взаимосвязанных процессов переноса вещества и энергии, протекающих в системе, свидетельствует о когерентности процессов, их информационной структурированности. В диапазоне допуска за счет процессов самоорганизации происходит сохранение равенства перекрестных коэффициентов на микроуровне, что свидетельствует о сбалансированности потоков вещества и энергии на макроуровне.

Установлено, что синергетическая информация, полученная путем разрушения существующей информационной, упорядоченной, пространственно-временной структуры–допуска представляет, исходя из теории Л. Онсагера, возможность указать путь перевода системы на новый уровень функционирования. В этом случае равенство

перекрестных коэффициентов в термодинамических уравнениях движения взаимосвязанных необратимых процессов переноса вещества и энергии нарушается. Вектор градиента информации, полученный за счет процессов самоорганизации путем увеличения скорости диссипации энергии указывает путь перевода системы на новый уровень функционирования. Перевод системы на новый уровень функционирования осуществляется за счет изменения потока диффузии за системой в сторону меньшей диссипации энергии без изменения его направления до тех пор, пока новый градиент температуры будет изменять поток диффузии с тем же самым новым коэффициентом, что и градиент диффузии будет изменять тепловой поток. Именно этот уровень функционирования является наилучшим для системы, т.к. именно он соответствует состоянию нового динамического равновесия как между внутренними компонентами системы, так и между системой и окружающей средой.

Исходя из синергетической теории диагностики, стало возможным, например, поддерживать функционирование комбинированного теплоснабжения с использованием энергии солнца на основе контроля работоспособности бака-аккумулятора как главного информационного центра. Использована результирующая информация в качестве меры отражения в его аккумулирующей емкости соотношения между производством и потреблением теплоты в едином информационном пространстве. Согласованное взаимодействие динамической подсистемы–бака-аккумулятора и блоков диагностирования ситуации, надежности и эффективности в составе экспертной системы позволяет не только поддерживать динамическое равновесие процесса аккумулирования, но и обеспечивать надежность комбинированного теплоснабжения за счет изменения режимных условий, например, использования теплонасосной системы или подключения к котельной. Дана возможность также оценивать, как изменение функциональной эффективности комбинированного теплоснабжения, так и эффективность принятия решений [5].

Так, например, рецепция результирующей информации на основе контроля работоспособности бака-аккумулятора:

$$\begin{aligned} & (CT_c(\tau)(-\Delta t(\tau) / \Delta t_{\text{уст. расч. верх. стратиф.}}(\tau) > \\ & - \Delta t_{\text{расч. ур. стратиф.}}(\tau) / \Delta t_{\text{уст. расч. верх. стратиф.}}(\tau) < 0)), \end{aligned} \quad (1)$$

дает возможность принимать решения по поддержанию разряда его аккумулирующей емкости с использованием отключения секций встроенного теплообменника (рис. 1):

$$(P(\tau)(z(\tau)(-)), Z_{cc}(\tau)), \quad (2)$$

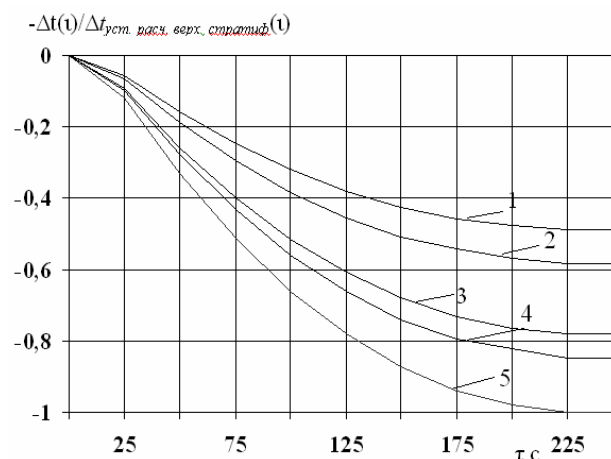


Рис.1. Интеллектуальная система управления баком-аккумулятором  
2,4,5 - допуски для нижнего, среднего, верхнего уровней стратификации  
соответственно; 3,1—разряд и идентификация разряда верхнего и среднего уровней  
стратификации соответственно

Получение же результирующей информации:

$$(CT_c(\tau)(-\Delta t(\tau) / \Delta t_{уст.расч.верх.стратиф.}(\tau) > 0)) \quad (3)$$

представляет возможность изменять режимные условия комбинированного теплоснабжения, например, подключением к дублирующему источнику энергии (рис. 2):

$$(P(\tau)(t_{гр.вх.}(\tau)(+)), Z_{cc}(\tau)), \quad (4)$$

где  $CT$ - контроль события;  $P$  – свойства элементов экспертной системы;  $Z$ -логические отношения в динамической подсистеме;  $t$  - температура рабочего тела, К;  $z$ -координата длины теплообменника, м;  $\tau$  - время, с. Индексы:  $c$  - контроль работоспособности; расч. уров. стратиф. – расчетное значение параметра уровня стратификации; уст. расч. верх. стратиф. – установившееся значение параметра верхнего уровня стратификации; гр. – греющий теплоноситель; вх. - вход в теплообменник.

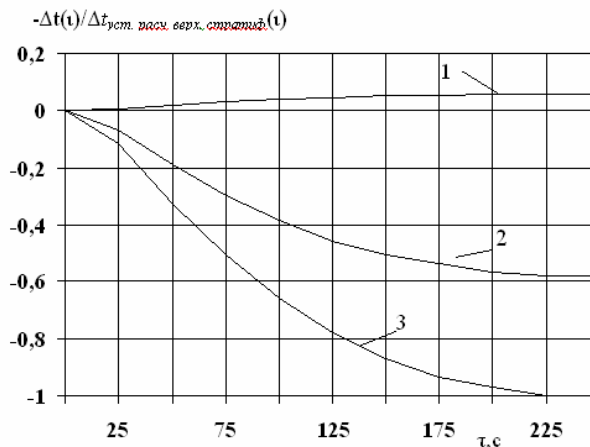


Рис.2. Изменение режимных условий функционирования бака-аккумулятора  
2—допуск для низкого уровня стратификации; 1,3—подключение к дублирующему  
источнику энергии, идентификация принятия решения соответственно

Получение результирующей информации об изменении аккумулирующей емкости бака-аккумулятора позволяет также оценивать функциональную эффективность комбинированной системы теплоснабжения: увеличение - за счет разряда и принятия решений на отключение секций теплообменника (рис.3, кривая 1), уменьшение - за счет заряда и принятия решений на включение секций теплообменника (рис.3, кривая 3). При достижении изменения функциональной эффективности граничного предела (рис.3, кривые 2,4) принятия решений по изменению режимных условий

функционирования возвращают энергетическую систему в допустимые границы работоспособности.

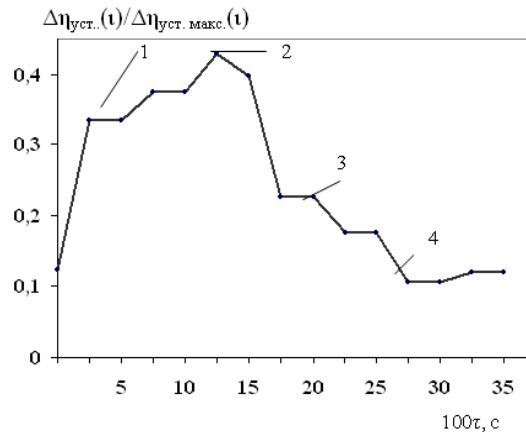


Рис.3. Изменение функциональной эффективности комбинированной системы теплоснабжения

1,3 - разряд, заряд бака-аккумулятора с идентификацией соответственно; 2,4 – диагностирование изменения режимных условий и их идентификация для увеличения и уменьшения аккумулирующей емкости соответственно

Исходя из синергетической теории диагностики энергетических систем, стало возможным управлять изменением уровня функционирования теплонасосной системы для соответствующего изменения уровня подогрева местной воды. Такое принятие решений соответствует согласованию требуемого количества теплоты с уровнем производительности теплового насоса.

Ситуация изменения уровня производства и потребления теплоты при использовании теплонасосной системы распознается на основе контроля работоспособности конденсатора теплового насоса согласно графу причинно-следственных связей [2-4]:

Рецепция управляющей информации:

$$(C_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{уст. расч. низ.}(\tau) > \Delta t_{расч. уров.}(\tau) / \Delta t_{уст. расч. низ.}(\tau))), \quad (5)$$

$$(C_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{уст. расч. низ.}(\tau) < \Delta t_{расч. уров.}(\tau) / \Delta t_{уст. расч. низ.}(\tau))), \quad (6)$$

позволяет осуществлять переход на новый уровень функционирования теплонасосной системы с целью увеличения или уменьшения уровня подогрева местной воды соответственно:

$$(P(\tau)(G_n(\tau)(+)(-), t_{м.вых.}(\tau)(+)(-)), Z_{сс}(\tau)). \quad (7)$$

Такое принятие решения способствует согласованию требуемого количества теплоты с уровнем производительности теплового насоса (рис.4)

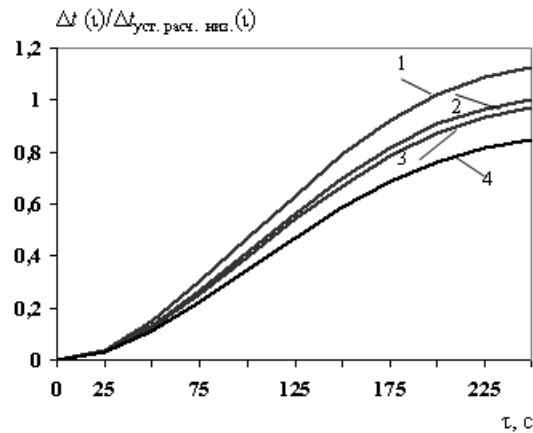


Рис. 4. Управление согласованием производства и потребления теплоты теплонасосной системы: 1 –принятие решения и его идентификация при переходе на средний уровень функционирования; 2, 3- предельно допустимая работоспособность низкого, среднего уровней функционирования соответственно; 4- принятие решения и его идентификация при переходе на низкий уровень функционирования

Получение же управляющей информации:

$$(C_c(\tau)(\Delta t_{\text{низ.уров.}}(\tau) / \Delta t_{\text{уст. расч. низ.}}(\tau) < \Delta t_{\text{расч. низ.уров.}}(\tau) / \Delta t_{\text{уст. расч. низ.}}(\tau)), \quad (8)$$

$$(C_c(\tau)(\Delta t_{\text{верх.уров.}}(\tau) / \Delta t_{\text{уст. расч. низ.}}(\tau) > \Delta t_{\text{расч. верх.уров.}}(\tau) / \Delta t_{\text{уст. расч. низ.}}(\tau)), \quad (9)$$

позволяет изменять режимные условия функционирования теплонасосной системы, например, использовать гелиоколлектор в ее составе или осуществлять производство теплоты от дублирующего источника энергии, например, котельной:

$$(P(\tau)(G_n(\tau)(-)(+)), Z_{cc}(\tau), \quad (10)$$

где  $G$  – расход вещества, кг/с. Индексы: н – наружный поток; м - местная вода; уст., расч. низ.–установившееся, расчетное значение параметра низкого уровня функционирования; расч. верх. уров. – расчетное значение параметра верхнего уровня функционирования, вых.- выход местной воды; обр.- обратная вода; к- конденсат.

Сезонное грунтовое аккумулирование теплоты от солнечной радиации для последующего ее использования в тепловом насосе требует нового подхода к управлению как процессом заряда, так и процессом разряда грунтового аккумулятора [2-4]. Это определено тем, что, не всегда возможно обеспечить качество традиционного управления процессом аккумулирования теплоты в связи со значительной инерционностью сигнала по изменению температуры грунта. Более того, невозможно гарантировать достоверность получения сигнала в усложненных условиях измерения температуры грунта, а измерительная аппаратура, обладающая значительной стоимостью, удорожает предлагаемые системы теплоснабжения с использованием грунтового аккумулирования – разрядки. В сложных условиях функционирования грунтового аккумулятора именно информация как мера отражения соотношения между производством теплоты от гелиоколлектора и ее потреблением грунтовым теплообменником без использования сигнала по изменению температуры грунта может

стать основой для поддержания динамического равновесия процесса грунтового аккумулирования.

Ситуация изменения уровня производства теплоты и ее потребления распознается на основе контроля работоспособности грунтового теплообменника как динамической подсистемы экспертной системы, основанной на синергетическом принципе:

Рецепция управляющей информации:

$$(C_c(\tau)(-\Delta t(\tau)/\Delta t_{уст.расч.верх..}(\tau) > \Delta t_{расч.уров.}(\tau)/\Delta t_{уст.расч.верх..}(\tau))), \quad (11)$$

$$(C_c(\tau)(-\Delta t(\tau)/\Delta t_{уст.расч.верх..}(\tau) < \Delta t_{расч.уров.}(\tau)/\Delta t_{уст.расч.верх..}(\tau))), \quad (12)$$

позволяет осуществить переход на новый уровень процесса аккумулирования с целью поддержания требуемой температуры грунта:

$$(P(\tau)(z(\tau)(-)(+))), Z_{cc}(\tau). \quad (13)$$

Принятие решения об отключении или включении секций грунтового теплообменника способствует равномерному прогреванию грунта (рис.5).

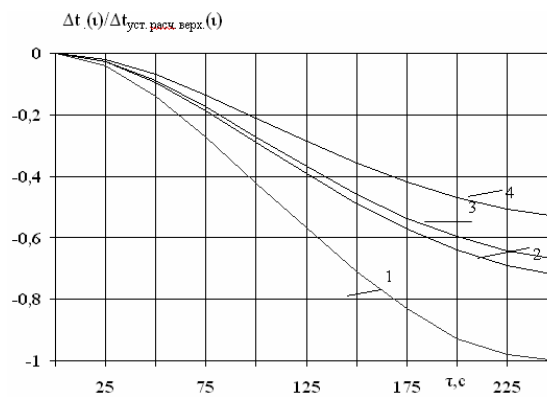


Рис. 5 Управление процессом аккумулирования теплоты в грунтовом аккумуляторе: 1, 2, 4 – допуски на предельно допустимую работоспособность грунтового теплообменника для верхнего, среднего и низкого уровней функционирования; 3 – разряд и идентификация разряда при переходе с верхнего на средний уровень функционирования, заряд и идентификация заряда при переходе с низкого на средний уровень функционирования

Получение же управляющей информации:

$$(C_c(\tau)(\Delta t_{низ.уров.}(\tau)/\Delta t_{уст.расч.верх..}(\tau) > \Delta t_{расч.низ.уров.}(\tau)/\Delta t_{уст.расч.верх..}(\tau) > 0)), \quad (14)$$

$$(C_c(\tau)(-\Delta t_{верх.уров.}(\tau)/\Delta t_{уст.расч.верх..}(\tau) < -\Delta t_{расч.верх.уров.}(\tau)/\Delta t_{уст.расч.верх..}(\tau) < -1)), \quad (15)$$

позволяет изменять режимные условия функционирования грунтового аккумулирования увеличением или уменьшением его аккумулирующей емкости.

Согласно синергетической теории диагностики энергетических систем стало возможным использовать интеллектуальную информацию в качестве меры отражения в аккумулирующей емкости метантенка, например, соотношения между производящей активностью процесса получения биогаза и используемой товарностью биогазовой установки в едином информационном пространстве. На основе согласованного взаимодействия динамической подсистемы-биогазовой установки и блоков диагностирования ситуации, надежности и эффективности в составе экспертной системы возможно не только поддерживать динамическое равновесие процесса получения биогаза, но и обеспечивать надежность биогазовой установки за счет изменения режимных условий функционирования. Представлена возможность также оценивать, как изменение функциональной эффективности биогазовой установки, так и эффективность принятия решений [6].

Так, например, рецепция результирующей информации:

$$(CT_c(\tau)(-\Delta t(\tau) / \Delta t_{уст. расч. верх.}(\tau) < -\Delta t_{расч. уров.}(\tau) / \Delta t_{уст. расч. верх.}(\tau) > -1)) \quad (16)$$

представляет возможность поддерживать, например, заряд аккумулирующей емкости метантенка с использованием включения секций встроенного теплообменника для подогрева субстрата (рис. 6):

$$(P(\tau)(z(\tau)(+)), Z_{cc}(\tau)). \quad (17)$$

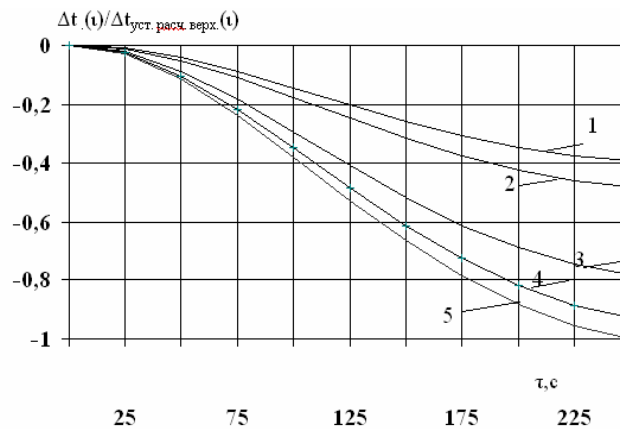


Рис. 6. Интеллектуальная система поддержания динамического равновесия процесса получения биогаза

1,3,5 – предельно допустимая работоспособность биогазовой установки для низкого, среднего, верхнего уровней функционирования соответственно; 2, 4 – заряд и идентификация заряда нижнего и среднего уровней соответственно

Получение же результирующей информации, например,:

$$(CT_c(\tau)(-\Delta t(\tau) / \Delta t_{уст. расч. верх.}(\tau) < -1)), \quad (18)$$

представляет возможность принимать решения для уменьшения аккумулирующей емкости метантенка с целью сохранения допустимого предела работоспособности верхнего уровня функционирования (рис. 5):

$$(P(\tau)(t_{\text{пр.вх.}}(\tau)(-)), Z_{\text{ср}}(\tau)) \quad (19)$$

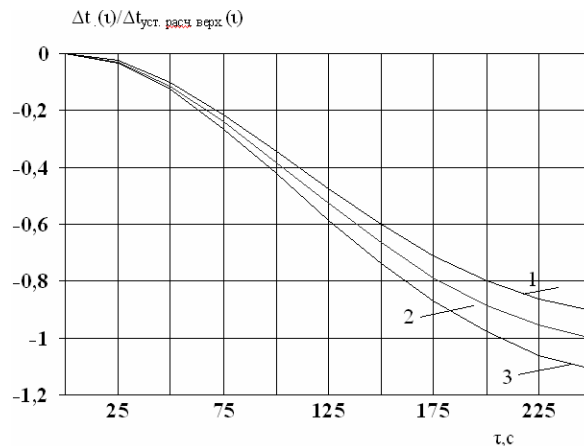


Рис. 7. Изменение режимных условий функционирования биогазовой установки  
 2 – предельно допустимая работоспособность верхнего уровня функционирования;  
 3,1 – диагностирование уменьшения аккумулирующей емкости, идентификация принятия решения соответственно

Получение результирующей информации об изменении аккумулирующей емкости метантенка позволяет также установить изменение функциональной эффективности биогазовой установки: увеличение - за счет разряда и принятия решений на отключение секций теплообменника (рис.8, кривая 1), уменьшение - за счет заряда и принятия решений на включение секций теплообменника (рис.8, кривая 3 ). При достижении функциональной эффективности граничных пределов (рис.8, кривые 2, 4) принятия решений для изменения режимных условий функционирования возвращают энергетическую систему в допустимые пределы поддержания динамического равновесия процесса получения биогаза.

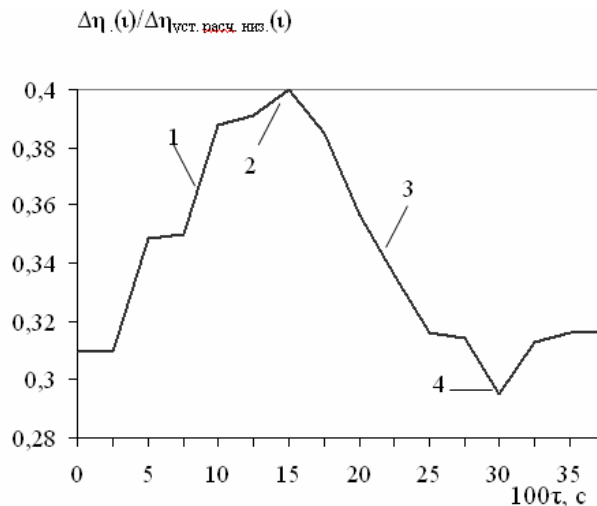




Рис. 8. Изменение функциональной эффективности биогазовой установки  
1,3 - разряд, заряд установки с их идентификацией соответственно; 2, 4 –  
диагностирование изменения режимных условий и их идентификация соответственно

где  $t$ - температура сбраживания, К. Индексы: расч. уров.- расчетное значение параметра; уст. расч. верх.- установившееся расчетное значение параметра верхнего уровня функционирования

Согласно синергетической теории диагностики энергетических систем стало возможным также поддерживать работоспособность автономной ветроэнергетической установки на основе управления зарядом или разрядом, как теплоэлектроаккумулятора, так и электроаккумулятора. Использована информация в качестве меры отражения в их аккумулирующей емкости соотношения между производством и потреблением энергии.

Более того, на основе контроля работоспособности теплоэлектроаккумулятора, например, возможно принимать решения по перераспределению энергии в условиях непостоянства ветрового потока.

Так, если:

$$(CT_c(-\Delta t(\tau) / \Delta t_{уст.расч.низ.уров.}(\tau) < -1)), \quad (20)$$

то система управления позволяет принимать решения на увеличение тепловой аккумуляции или дополнительного заряда электроаккумулятора:

$$(P(\tau)(G_m(\tau)(+))), Z_{cc}(\tau), \quad (21)$$

$$(P(\tau)(w(\tau)(-))), Z_{cc}(\tau). \quad (22)$$

Если же:

$$CT_c(\Delta t(\tau) / \Delta t_{уст.расч.низ.уров.}(\tau) > 0), \quad (23)$$

то представлена возможность принять решение о разряде электроаккумулятора до необходимости использования традиционного источника энергии:

$$P(\tau)(w(\tau)(+))), Z_{cc}(\tau). \quad (24)$$

где  $w$ - мощность теплоэлектроаккумулятора.

При функционировании ветросолнечной энергоустановки, например, возможно на основе интеллектуальной системы управления комбинированным теплоснабжением с гелиоколлектором, управляя разрядом или зарядом бака-аккумулятора, подключить систему теплоснабжения к электроаккумулятору ветроэнергетической установки, не используя традиционный источник энергии с целью экономии органического топлива (рис.2).

Интеллектуальное управление самоорганизацией энергетических систем имеет экономно-энергетическую результативность, т.к. базируется на термодинамической основе когерентности тепломассообменных и информационных процессов.

Так, например, реализованная энергосберегающая технология комбинированного теплоснабжения позволяет:

1. Поддерживать динамическое равновесие процесса аккумулирования теплоты в баке-аккумуляторе без использования сигнала по изменению температуры местной воды из-за его значительной инерционности.

2. Поддерживать надежность комбинированной системы теплоснабжения с целью изменения режимных условий функционирования.

3. Функционально оценивать изменение эффективности комбинированной системы теплоснабжения и функционально оценивать эффективность принятия решений в сложных условиях не совпадения производства и потребления теплоты.

Такой подход позволяет снизить себестоимость производства теплоты, как за счет использования энергии аккумуляции местной воды в баке-аккумуляторе в полной мере, так и за счет экономии затрат на сверхнормативную площадь гелиоколлектора с целью расширения диапазона функционирования энергетической системы при использовании традиционного регулирования.

Так, например, возможно поддерживать функционирование биогазовой установки на основе интеллектуального управления тепломассобменными процессами без использования сигнала по температуре сбраживания в метантенке из-за его значительной инерционности. Представлена возможность рекомендовать конструктивно-режимную реализацию биогазовой установки с встроенным теплообменником для поддержания динамического равновесия процесса получения биогаза за счет изменения аккумулирующей емкости сула отключением или включением секций теплообменника. Это способствует увеличению товарности биогазовой установки, как за счет максимального выхода биогаза, так и использования энергии аккумуляции сула в полной мере.

Применение же требуемых уровней функционирования теплонасосной системы, например, снижает себестоимость производства теплоты за счет экономии электроэнергии.

#### Литература

[1] Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса, Прогресс, Москва, 1986.

[2] Чайковская Е.Е. Когерентность тепломассобменных и информационных процессов как основа синергетической концепции диагностики. Труды 5-го Минского международного форума по тепломассобмену.-ГНУ"ИТМО им. А.В.Лыкова" НАНБ, 2004.

[3] Чайковська Є.Є. Управління функціонуванням енергетичних систем на основі контролю їх працездатності. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2006, №3/2(21), с.с. 48 - 52.

[4] Чайковская Е.Е. Управление согласованием производства и потребления теплоты на уровне принятия решений. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2007, №2/3(26),с.с.16 - 20.

[5] Ищук Н.Ф. Система управления комбинированным теплоснабжением на уровне принятия решений. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2006№3/2(21), с.с. 41- 44.

[6] Кустов К.О. Підтримка функціонування біогазової установки на рівні прийняття рішень. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2007, №3/2(27), с.с. 54-56.