

Експериментална пилотна биогазова инсталация с компютърна система наблюдение и управление

И. Симеонов, Е. Чорукова, В. Акиванов, В. Лаков, С. Михайлова

Experimental Pilot Biogas Plant with Computer Monitoring and Control System

I. Simeonov, E. Chorukova, V. Akivanov, W. Lakow, S. Mihaylova

Key Words: Anaerobic degradation; biogas; pilot bioreactor; software sensors; LabVIEW; Beckhoff controller; system for monitoring and control.

Abstract. In this paper the pilot biogas plant of the Stephan Angeloff Institute of microbiology, BAS is presented. This pilot biogas plant includes computer system for monitoring and control and was designed for development and scale-up of different biotechnologies for anaerobic degradation of organic wastes. Two options of the computer system are developed – research option based on PC and LabVIEW and industrial option based on PLC controller of Beckhoff. Data from sensors is stored and visualized on PC and is used for calculation of unmeasured technological parameters (via software sensors) and for optimal values of control algorithms parameters determination. The developed monitoring system includes software sensors for calculation of specific growth rates of two microbial populations and their biomass concentrations. Bang-bang algorithms are tested for bioreactor temperature regulation (with the controller of Beckhoff) and regulation of the biogas flow-rate (both with LabVIEW and the controller of Beckhoff). The obtained results are acceptable for the temperature regulation and poor for the regulation of the biogas flow-rate.

Увод

Анаеробната биодеградация на органични отпадъци (АБДОО) е широко прилаган биотехнологичен процес и обещаваща технология за решаване на някои енергийни и екологични проблеми. При тези процеси, които често протичат в биореактори с постоянно разбъркване (CSTR), органичните вещества се пречистват от микроорганизми, отделящи биогаз и биошлам, който е добър тор, в безкислородни условия [1,2].

Енергията, добита от биогаз, е допълнителен енергиен източник, който може да замени изкопаемите горива до известна степен. Следователно биогазът има директен положителен ефект при намаляването на отделяните парникови газове.

В статията е представена пилотната биогазова инсталация (БИ) на Института по микробиология „Стефан Ангелов“ към Българската академия на науките и новата система за наблюдение и управление на АБДОО. Тази ин-

сталация служи за разработване на нови оптимизирани технологии за АБДОО на различни органични отпадъци и широкоспектърно изучаване на този тип процеси, както и за тестване на различни алгоритми за техните мониторинг, оптимизация и автоматично управление. Разглежданите въпроси включват микробиологични и биохимични изследвания, математическо моделиране, софтуерни сензори, управляващи алгоритми и други [3].

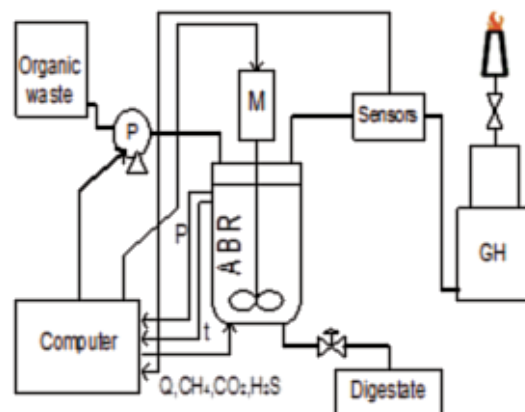
Пилотен биогазов реактор

Технологична схема

Технологичната схема на инсталацията е показана на фиг. 1 [5].

Оборудване

Входната суровина и изходящият биошлам от биореактора (БР), които се подават и източват съответно между 1 и 24 пъти в денонощие, се съхраняват в пластмасови бидони с обем 50 литра в съседно помещение. БР (с пълнен обем 100 л) е изработен от неръждаема стомана, а горният му фланец е снабден с магнитен съединител между бъркалната и електрическия ѝ двигател. Двигателят е трифазен, а бъркалната е с лопатки на три нива. БР има монтирани и вертикални отбойници за осигуряване на по-добро разбъркване.



Фиг. 1. Схема на пилотната биогазова инсталация с компютърна система за наблюдение и управление

Анаеробният биореактор е конструиран с водна риза, снабдена с разширителен топлообменен съд и циркуляционна помпа. Подгръването се осъществява при постоянно работеща помпа и включване на електрически нагревател на циркулиращата вода. Топлоизолацията е с дебелина от 10 см за намаляване на топлинните загуби и финансови разходи. Изолацията е проектирана да осигурява теоретично стационарен модел на топлинните загуби за два температурни режима за производството на биогаз – мезофилен (35 °C) и термофилен (55 °C). За целта е избрана минерална вата с коефициент на топлопроводимост λ от 0.035 W/(m.K), която е покрита с алуминиево фолио. Топлинните загуби на биореактора са изчислени чрез математичен модел за дебелина на изолацията от 1 до 10 см.

През отвор в горния фланец, снабден с кран, биогазът се отвежда към газов дебитомер, а след това – към метален газхолдер с обем 200 литра, работещ на принципа на изместването на водата. Основните регулиращи органи са две подхранващи помпи, които са взаимозаменяеми. Първата е перисталтична, а втората е шнекова. Втората помпа позволява реализирането на непрекъснат процес, като дневното количество суровина се подава в БР на няколко пъти, както и да се използва в случаите, когато се налага честа промяна в подхранването през деня. Маркучите за входящата и изходящата маса, както и тези за биогаза са снабдени с кранове, осигуряващи лесен демонтаж в случаите на профилактика.

Датчици

В инсталцията са монтирани следните датчици:

- Температурни датчици в БР – стандартно термосъпротивление от тип Pt100 в две точки (странично монтиран в корпуса и потопен през фланеца).
- Датчик за налягане на газовата фаза в биореактора – обхватът на датчика е 0-250 mbar, а изходът му е електрически ток в обхвата 4-20 mA.
- Датчик за налягане на течната суровина във входящия маркуч – обхватът на датчика е 0-1.5 bar, а изходният му сигнал е електрически ток в обхвата 4-20 mA.
- Дебит на биогаза – газов дебитомер от воден барабанен тип с четири камери Ritter TG05. Обхватът на измерване е 1-60 литра/час с точност 0.5%. Допустимото входно налягане е в обхвата 8-50 mbar. Уредът е снабден с голям циферблат и брояч, както и с импулсен изход (400 импулса/литър) – *фиг. 2*.
- Газови анализатори – съдържанието на метан и въглероден диоксид се измерва с инфрачервени датчици, свързани последователно в отделен газов кръг. Техните характеристики са следните:
 - o Датчик за метан: обхват 0-100 vol %, точност 1%, месечен дрефт 1%. Изходният сигнал е електрически ток в обхвата 4-20 mA.
 - o Датчик за въглероден диоксид: обхват 0-70 vol %, точност 1%, месечен дрефт 1%. Изходният сигнал е електрически ток в обхвата 4-20 mA.

Газовите датчици са монтирани в отделно табло заедно със специфична помпа, осигуряваща нужното налягане

и циркуляция на биогаза по време на измерването – *фиг. 3*. Биогаз не се изпуска в атмосферата, а той циркулира в газовата фаза на биореактора.

На *фиг. 2* е показан газовият дебитомер, а на *фиг. 3* е показана цялата биогазова инсталация в специализираната лаборатория. Съоръженията на *фиг. 3* отляво надясно са, както следва: бидон за временно съхранение на входната суровина, разположен над шнековата помпа; чрез помпата суровината се вкарва в биореактора през отвор на горния фланец; биогазът минава през металния охладител за отстраняване на водните пари; след него биогазът преминава през кръга на газовите сензори и към дебитомера и газхолдера, разположени вдясно на снимката; в таблото с прозрачен капак в средата на инсталцията са разположени индикатори за температурата и налягането в биореактора, както и газовата помпа; под него е перисталтичната помпа.



Фиг. 2. Газов дебитомер от мокър барабанен тип



Фиг. 3. Общ изглед на пилотната биогазова инсталация

Система за наблюдение и управление

Системата за наблюдение се състои от две мрежови камери с функции за запис на видео клип и изпращане на снимки в случай на изпускане на биогаз, както и за отдалечено демонстриране на работата на инсталцията за целите на обучението.

Камерата Sony Ipela SNC-RZ25P е инсталирана в биогазовата лаборатория. Това е мрежова PTZ камера с възможност за голямо оптично увеличение (18x) и двупосочна аудио връзка. Софтуерът ѝ дава възможност за запис на видео клип при наличие на движение в помещението.

Камерата NDH210-3A IP е инсталирана в помощното помещение, където се съхраняват и се извършват процедурите за предварително третиране на входните суровини.

Софтуерни сензори

Изчисляването на специфични скорости на растеж и концентрация на биомасите на две микробни популации (ацидогени и метаногени) са разработени на базата на нелинеен модел от пети ред и алгебричния подход, разгледан в [4]. Те са изградени на базата на следния математическия модел на АБДО [4]:

$$\begin{aligned}
 \frac{dS_0}{dt} &= -DS_0 - \beta X_1 S_0 + DY_p S_{in} \\
 \frac{dX_1}{dt} &= (\mu_1 - D - k_1) X_1 \\
 (1) \quad \frac{dS_1}{dt} &= -DS_1 + \beta X_1 S_0 - \mu_1 \frac{X_1}{Y_1} \\
 \frac{dX_2}{dt} &= (\mu_2 - D - k_2) X_2 \\
 \frac{dS_2}{dt} &= -DS_2 + Y_b \mu_1 X_1 - \mu_2 \frac{X_2}{Y_2} \\
 Q &= Q_{CH_4} + Q_{CO_2} \\
 Q_{CH_4} &= K_{X_2CH_4} \mu_2 X_2 \\
 Q_{CO_2} &= K_{X_1CO_2} \mu_1 X_1 + K_{X_2CO_2} \mu_2 X_2
 \end{aligned}$$

Софтуерните сензори са сравнително лесни за реализация и са представени със система обикновени диференциални уравнения (2), както следва:

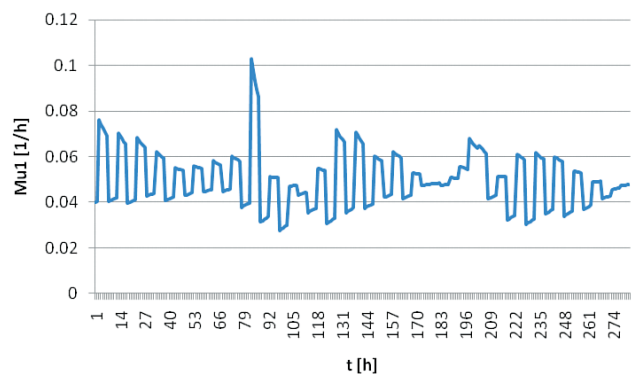
$$\begin{aligned}
 (2) \quad \dot{\hat{z}}_1 &= -(D + k_1) \hat{z}_1 + q_{CO_2} \\
 \hat{\mu}_1 &= \frac{q_{CO_2}}{\hat{z}_1} \\
 \dot{\hat{z}}_2 &= -(D + k_2) \hat{z}_2 + Q_{CH_4} \\
 \hat{\mu}_2 &= \frac{Q_{CH_4}}{\hat{z}_2} \\
 q_{CO_2} &= K_{X_2CH_4} Q_{CO_2} - K_{X_2CO_2} Q_{CH_4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (3) \quad \hat{X}_1 &= \frac{z_1}{K_{X_1CO_2} K_{X_2CH_4}} \\
 \hat{X}_2 &= \frac{z_2}{K_{X_2CH_4}}
 \end{aligned}$$

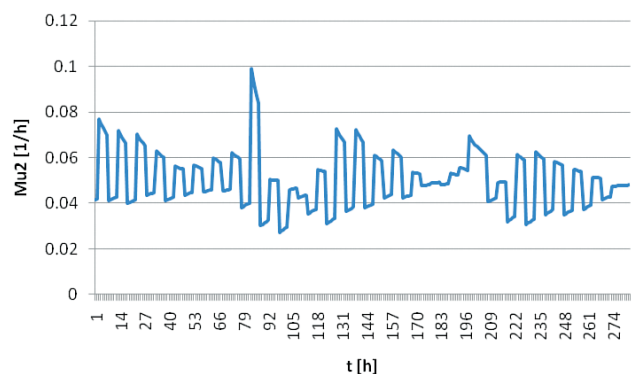
Системата уравнения (2) съдържа две обикновени диференциални уравнения за междинните променливи z_1 и z_2 , където D е скоростта на разреждане, Q_{CO_2} и Q_{CH_4} са измервани величини в реално време, дебитът на въгле-

родния диоксид и метана, k_1 , k_2 , $K_{X_2CH_4}$ и $K_{X_2CO_2}$ са известни коефициенти, а μ_1 и μ_2 , X_1 и X_2 са съответно специфичните скорости на растеж и концентрациите на биомаса на ацидогенните и метаногенните микроорганизми. Оценките за μ_1 и μ_2 са показани на *фиг. 4* и *5*. Оценките на X_1 и X_2 са показани съответно на *фиг. 6* и *7*.

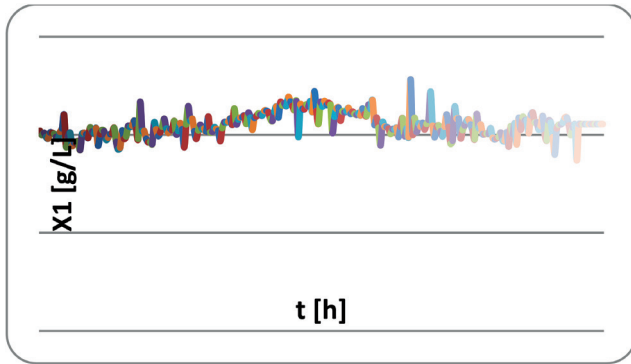
От проведените симулационни изследвания на софтуерните сензори може да се заключи, че при стартиране от различни начални условия оценките бързо сходят към изчислените от симулацията стойности. След затихване на преходните процеси сензорите са устойчиви и надеждни дори и при наличие на допълнителен шум в измерванията на Q_{CO_2} и Q_{CH_4} . За внедряването на разработените софтуерни сензори е необходимо да се получава информация в реално време за D (постоянно задание или изчислено управляващо въздействие) и дебитите на въглероден диоксид и метан, съответно Q_{CO_2} и Q_{CH_4} . Калибрирането на софтуерните сензори изисква точни данни за коефициентите k_1 , k_2 , $K_{X_2CH_4}$ и $K_{X_2CO_2}$. Коефициентите k_1 и k_2 , съответстващи на смъртността на ацидогенните и метаногенните микроорганизми, са с ниски стойности и в случая се пренебрегват ($k_1=k_2=0$). Точните стойности на добивните коефициенти $K_{X_2CH_4}$ и $K_{X_2CO_2}$, съответстващи на добивите на метан и въглероден диоксид от метаногените и ацидогените, трябва да бъдат определени експериментално.



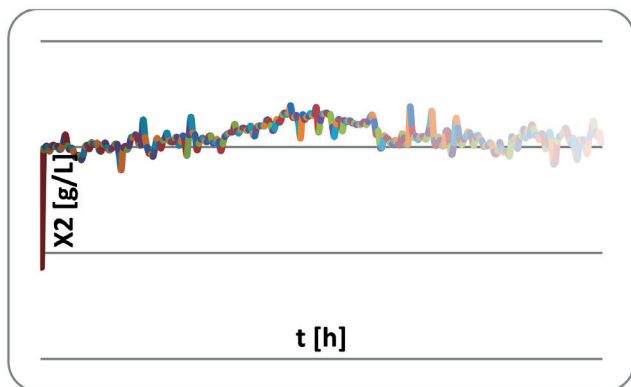
Фиг. 4. Оценки на μ_1 (специфична скорост на растеж на ацидогените)



Фиг. 5. Оценки на μ_2 (специфична скорост на растеж на метаногените)



Фиг. 6. Оценки на X_1 (концентрация на ацидогенни микроорганизми)



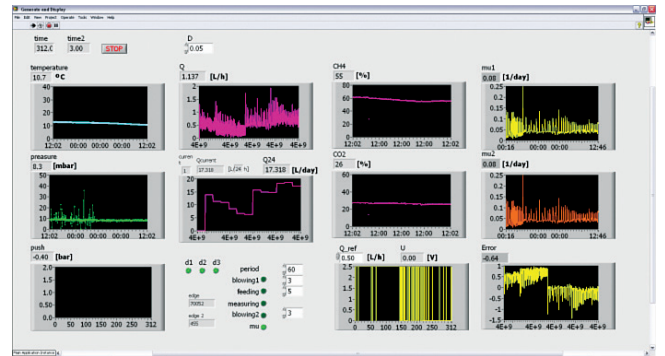
Фиг. 7. Оценки на X_2 (концентрация на метаногенни микроорганизми)

Компютърна система – персонален компютър с LabVIEW

Реализацията на тази система е стандартна – измерваните сигнали влизат в аналогово-цифров преобразователен модул (АЦП) със съответните входни обхвати. След предварителна обработка (филтриране) стойностите се показват графично и цифрово на монитора и се записват в компютъра. Изчислените управляващи сигнали се подават към обекта чрез цифрово-аналогов преобразователен модул (ЦАП). Използваният софтуер е LabVIEW на компанията National Instruments [7], както и АЦП и ЦАП модулите.

Последователността на измерването на дебитите на метан и въглероден диоксид е следната: продухване с чист въздух за 3-5 минути по съответния маркуч преди и след измерването. Периодът на измерване на двата газа съвпада с периода на изпълнение на управлението. Изчисляването на оценките на софтуерните сензори са след приключването на измерванията. На *фиг. 8* е показан прозорецът на разработената програма на LabVIEW с всички измервани и изчислявани величини. Компютърната система за наблюдение и управление използва два модула USB-6008 с USB интерфейс на компанията National Instruments. Общият брой на входовете и изходите е следният:

- Аналогови входове: 8.
- Аналогови изходи: 2.
- Цифрови входове: 12.
- Цифрови изходи: 12.



Фиг. 8. Програмен прозорец на разработената програма в средата LabVIEW в работен режим

Компютърна система – PLC контролер

На *фиг. 9* е показана PLC системата заедно с възможни допълнителни модули на компанията Beckhoff. Конфигурацията на PLC контролера включва главния модул CX-1030 и входно-изходни модули, предоставящи:

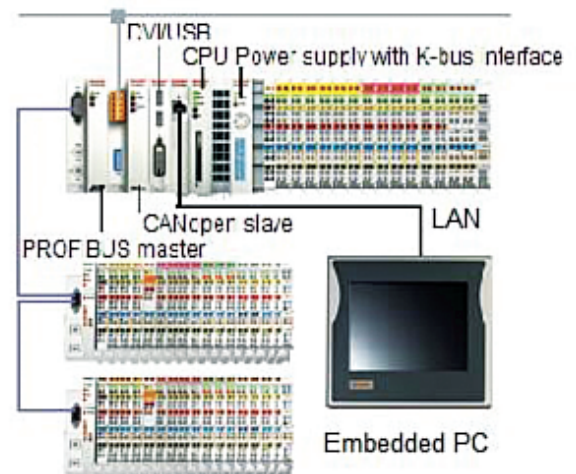
- Аналогови входове: 6 + 2 (съпротивителни).
- Аналогови изходи: 0.
- Цифрови входове: 8.
- Цифрови изходи: 8.

Функциите на PLC контролера са следните:

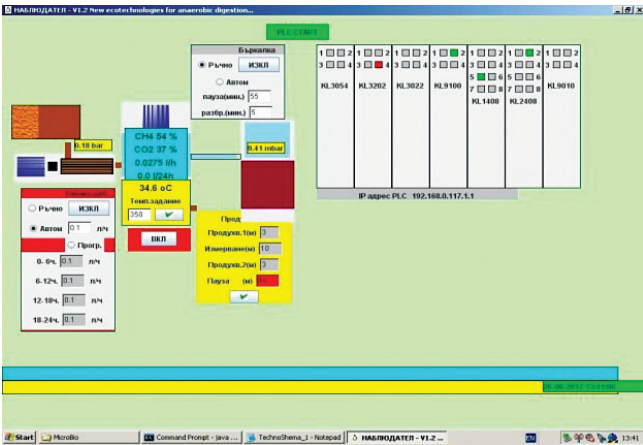
- Измерване на параметрите на процеса в реално време.
- Настройване на параметрите на алгоритъма за управление.
- Изчисляване на управляващите сигнали и тяхното подаване към инсталацията.

На *фиг. 9* е показан прозорецът на разработената програма за връзка с PLC контролера. Прозорецът включва следните части:

- Технологична схема на процеса с полета за индикация на текущите стойности на различните величини и състоянието на отделните агрегати в инсталацията.
- Схема на модулите на PLC контролера и състоянието на техните входове и изходи в реално време.



Фиг. 9. PLC система за управление



Фиг. 10. Програмен прозорец на разработената програма за връзка с PLC контролера

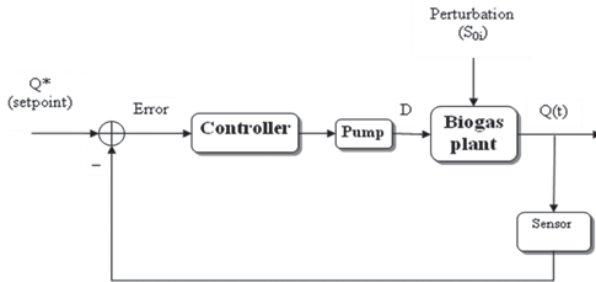
Електрическото захранване на оборудването се осигурява през UPS устройство с капацитет 1500 VA и синусоиден изходен сигнал. Лабораторията е оборудвана и със система за откриване на течове на метан и въглероден диоксид с три датчика, разположени на подходящи места и височини.

Автоматично управление на добива на биогаз и на температурата в биореактора

В повечето функциониращи промишлени биогазови инсталации не се използват системи за регулиране и управление на добивите на биогаз. Същевременно е добре известно, че в редица случаи е желателно да се регулира и/или програмира дебитът на получавания биогаз с оглед получаването на енергия в определени часове на деня или в определени дни от седмицата [3].

Блоквата схема на системата за управление на дебита на получавания биогаз (Q) е показана на фиг. 11. Управляващото въздействие (D) на практика е дебитът на подхранващия разтвор (отпадъчна органика), като регули-

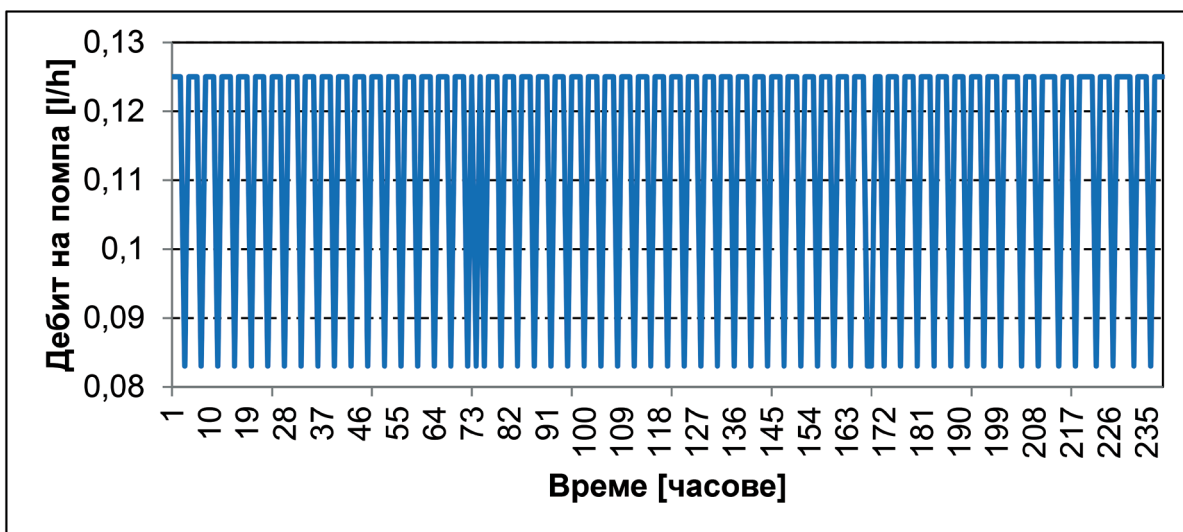
рацията орган в случая е шнекова помпа с възможност за регулиране на оборотите ѝ в диапазона 50–100% от максималния ѝ дебит. Управлението на шнековата помпа може да се реализира с плавно изменение на оборотите в указания по-горе работен диапазон и с импулсна работа на помпата. Поради бавните процеси с големи времеконстанти (4-5 дни) на този етап е предпочетен икономически оправданият релеен регулатор.



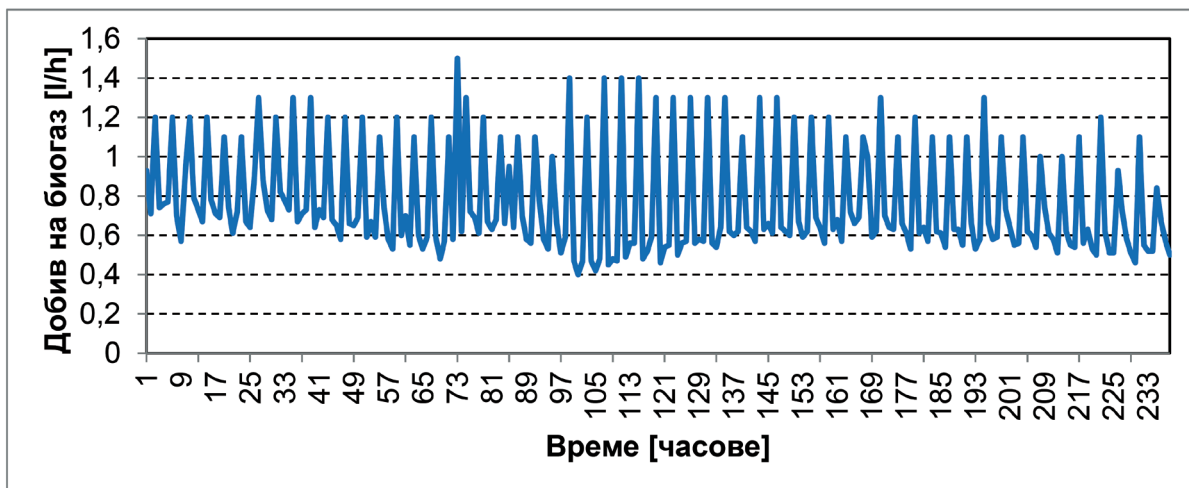
Фиг. 11. Блоквата схема на системата за управление на дебита на получавания биогаз

Системата за управление е разработена в LabVIEW среда и реализира двупозиционно управление с долна стойност 50% и горна стойност 75%. Управлението на подхранващата шнекова помпа става по следния начин. След подаване на захранващо напрежение помпата се стартира автоматично. Скоростта на въртене и следователно дебитът ѝ се определя от аналогов входен сигнал. При минимална стойност на този сигнал помпата работи с 50% от максималния си капацитет. При максимален входен сигнал капацитетът на помпата е 100%. Възможността за управление на подхранващата шнекова помпа по време на работа и скорост позволява да се реализират и по-сложни алгоритми за управление. Максималният осигуряван дебит е 2 л/ч, което отговаря на ограничението на управляващото въздействие D.

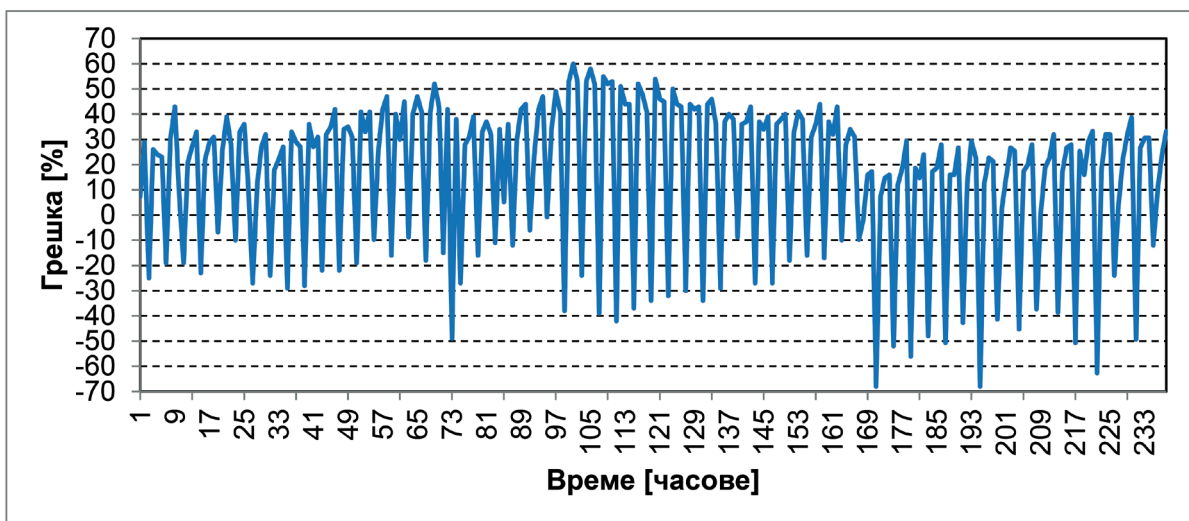
Изменението на управляващото въздействие, получения добив на биогаз и грешката на управлението са дадени съответно на фиг. 12, 13 и 14.



Фиг. 12. Релейно управляващо въздействие



Фиг. 13. Часови добив на биогаз при задание 1 л/час и 0.75 л/час

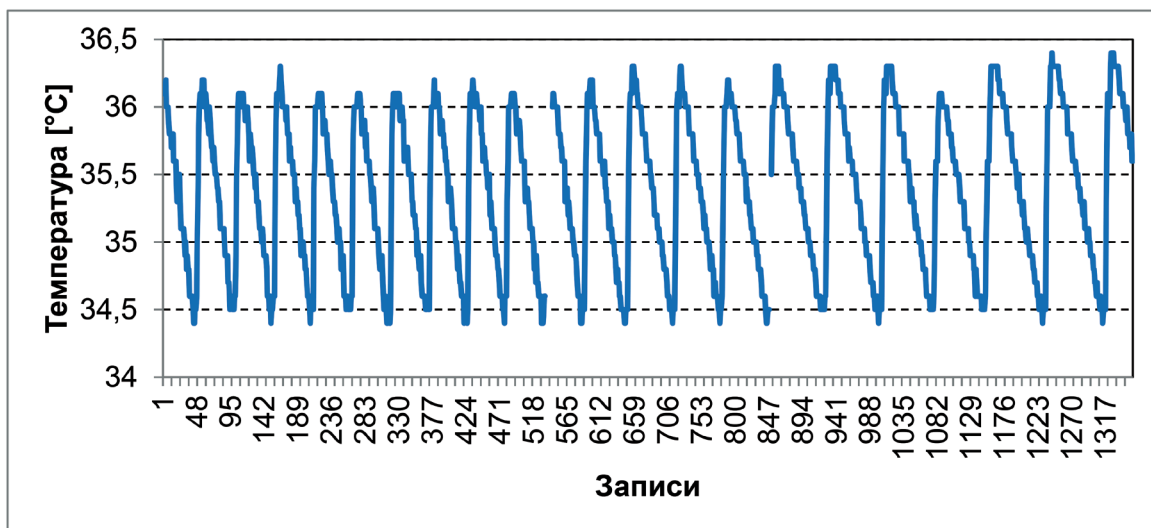


Фиг. 14. Относителна грешка на часовия дебит на биогаз при задание 1 л/час и 0.75 л/час

От фиг. 13 и 14 се вижда, че точността на регулиране на дебита на получавания биогаз не е добра и е необходимо да се приложат други алгоритми за управление.

Поради липсата на високи изисквания по отношение на точността на регулиране на температурата в биореакто-

ра също е приложен релейен регулатор, реализиран с PLC контролера. На фиг. 15 е показано изменението на температурата при период на записване 5 минути. Графиката обхваща период 4 дни и 17 часа.

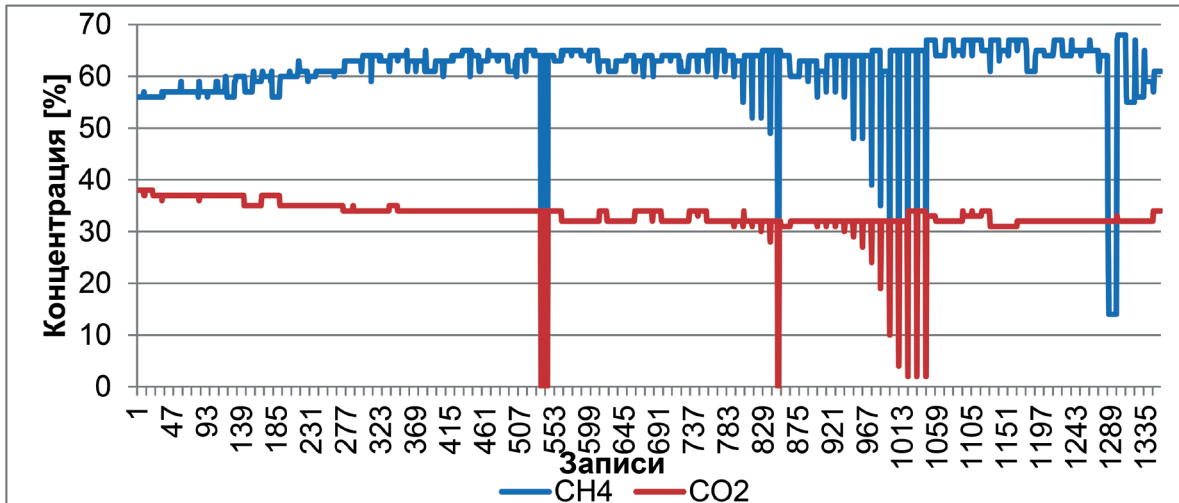


Фиг. 15. Промяна на температурата в биореактора при релейно управление

От *фиг. 15* се вижда, че необходимата точност $\pm 1^{\circ}\text{C}$ на практика се осигурява с използвания релеен регулатор. Въпреки това е предвидено да се тестват и по-сложни закони за регулиране на температурата в биореактора.

Енергоносителят в биогаза е получаваният метан, а концентрацията на въглероден диоксид в биогаза носи ва-

жна информация за функционирането на някои бактериални популации от сложното съобщество от популации, което осъществява процесите на анаеробна биодegradация. На *фиг. 16* са показани обемните концентрации на метан (CH_4) и въглероден диоксид (CO_2) за същия период и честота на отчитане 5 минути.



Фиг. 16. Концентрация на метан и въглероден диоксид в газовата фаза на биореактора

От *фиг. 16* се вижда, че е необходимо прилагането на алгоритми за филтрация преди използването на тази информация за целите на мониторинга и/или управлението на процеса. В случая при реализацията на софтуерните сензори, използващи тази информация, са използвани алгоритми от тип пълзящо средно.

Заклучение

Пилотната биогазова инсталация е проектирана с цел проверка и мащабиране на различни технологии за анаеробна биодegradация при използване на разнообразни органични входни суровини (поотделно или в смеси). Цялата събирана информация се визуализира и съхранява в компютър, като се използва за изготвяне на справки, идентифициране и валидиране на различни математически модели и други. Измерваните данни служат и за изчисляване на някои неизмерими процесни величини или за настройване на алгоритмите за управление и търсене на оптималните им стойности

Разработените софтуерни сензори на този етап показва добра работоспособност, но все още са необходими допълнителни изследвания за универсалността на получените оценки при различни органични отпадъци или смеси от такива. Предстои да се провери и възможността за използване на тези оценки при реализацията на по-сложни алгоритми за управление на дебита на получавания биогаз.

Освен разработването на нови, по-сложни алгоритми за управление на дебита на получавания биогаз нашата бъдеща работа е насочена и към реализирането на двуфазова инсталация, изградена от два последователно свърза-

ни биореактора за едновременно получаване на водород и метан от органични отпадъци.

Благодарности

Изказваме благодарности на Фонд „Научни изследвания“ за получената финансова помощ по договор № ДФ-НИ-Е02/13.

Литература

1. Ahring, B. (Ed.). Biomethanation, I and II, Springer – Verlag Berlin – Heidelberg, 2003.
2. Deublein, D. and A. Steinhauser. Biogas from Waste and Renewable Resources. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2008.
3. Dochain, D. and P. A. V. Vanrolleghem. Dynamical Modeling and Estimation in Wastewater Treatment Process. IWA Publ., London, 2001.
4. Simeonov, I., S. Diop, B. Kalchev, E. Chorukova, N. Christov. Design of Software Sensors for Unmeasurable Variables of Anaerobic Digestion Processes. New Trends in Microbiology. 65th Anniversary of the Stephan Angeloff Institute of Microbiology, Bulgaria. The Stephan Angeloff Institute of Microbiology, Bulgarian Academy of Sciences, 2012, 307-311.
5. Simeonov I., E. Chorukova, S. Diop, N. Christov. Pilot Scale Biogas Reactor with Computer System for Monitoring and Control. Proc of Septième édition du Colloque Francophone en Energie, Environnement, Economie et Thermodynamique – COFRET'14, Paris, Cnam, 23-25 avril 2014, 711-723.
6. Simeonov, I., B. Kalchev, N. Christov. Parameter and State Estimation of an Anaerobic Digestion Model in Laboratory and Pilot-scale Conditions. Proc. 18th IFAC World Congress, Milano, Italy, 28 Aug. – 2 Sept. 2011, 6224-6229.

7. LabVIEW User Manual – National Instruments. Austin, Texas, USA, 2003.
8. Simeonov, I. and I. Queinnec. (2006). Linearizing Control of the Anaerobic Digestion with Addition of Acetate (Control of the Anaerobic Digestion). – *Control Eng. Practice*, 14, 2006, 799-810.
9. Wang, H. P., B. Kalchev, Y. Tian, I. Simeonov and N. Christov. Modelling and Composed Recursive Model Free Control for the Anaerobic Digestion Process. *Advances in Intelligent Control Systems and Computer Science*, Springer, Jan. 2013, 265-278.
10. Wang, H. P., B. Kalchev, Y. Tian, I. Simeonov, N. Christov. Composed Recursive Model Free Controller Used in Output Feedback

Regulation of an Anaerobic Digestion Process of Cattle Dung. 18th Int. Conf. Contr. Syst. Comput. Sci., Bucharest, Romania, 23-27 May 2011, 66-72.

За контакти:

Доц. **Иван Симеонов**
 Институт по микробиология „Стефан Ангелов“
 Българска академия на науките
 ул. Акад. Георги Бончев 26, 1113 София
 e-mail: issim@microbio.bas.bg

in memoriam

Доц. Георги Любомиров Лехов



На 11 май 2019 г. след тежко боледуване ни напусна нашият колега Георги Лехов, доцент по теория на управлението в Русенския университет „Ангел Кънчев“.

Георги Лехов е роден на 9 декември 1951 г. Завършва специалността автоматизация на производството в Техническия университет – София, през 1974 г. Има

проведени стаж и специализация в Киевския политехнически институт и в Научно-техническия комплекс „Институт електросварки имени Е. О. Патона“ в Киев по динамика и управление на манипулационни роботи. През 2000 г. защитава докторска дисертация на тема „Анализ и синтез на системи за управление на манипулационни роботи чрез прекия метод на Ляпунов“.

От 1974 до 2017 г. е преподавател по теория на автоматичното управление в Русенския университет „Ангел Кънчев“. Водил е лекции на студенти от специалностите компютърно управление и автоматизация, електроника, интернет и мобилни комуникации и други в образователно-квалификационните степени „Бакалавър“ и „Магистър“ по дисциплините „Теория на управлението – 1“, „Теория на управлението – 2“, „Оптимални и адаптивни системи“, „Задвижване и сервосистеми на промишлени роботи“, „Роботизация на технологични процеси“, „Робастно управление“ и други. Подготвил е лекционни курсове и практически упражнения на английски език по дисциплините „Теория на управлението – 1“, „Адаптивни системи“ и „Робастни системи“ по Договор за сътрудничество между Висшето училище за нефт в Баку към Държавната нефтена компания на Република Азербайджан и Русенския университет „Ангел Кънчев“. Провеждал е лекции и практически упражнения по дисциплината „Control Theory-1“ с чуждестранни студенти по програмата „Еразъм+“. Изнасял е лекции в Киевския политехнически институт и в Селскостопанския

университет на Атина. Ръководил е над 60 защитили дипломанти. Бил е ръководител на трима докторанти, един от които е защитил успешно.

Доц. Лехов е дългогодишен член на IEEE в секцията Control Systems Society, член е на Съюза на учените – Русе, и на Съюза по автоматика и информатика. Бил е заместник-председател и председател на Общото събрание на факултет „Електротехника, електроника и автоматика“. Дълги години е ръководител на Научния семинар към катедра „Автоматика и мехатроника“, в Русенския университет „Ангел Кънчев“.

Доц. Георги Лехов беше изключително възискателен към научната си продукция. Той е автор и съавтор на над 60 научни статии и доклади у нас и в чужбина. Има доклад, отличен от Програмния комитет на Научната конференция на Русенския университет с наградата „The Best Paper“. Участвал е в девет проекта към Научноизследователския сектор на ВТУ „Ангел Кънчев“ и множество проекти по вътрешния Фонд за научни изследвания на университета. Има пет авторски свидетелства и четири внедрявания в практиката. Рецензирал е чуждестранни статии към списание „Scientia Iranica“, издавано от Elsevier. Има издадени пет учебника и четири ръководства за практически упражнения. Три от учебниците и едно от ръководствата са наградени с първо място на традиционната изложба на печатни и електронни издания на преподаватели от Русенския университет „Ангел Кънчев“.

Георги Лехов беше изтъкнат специалист в областта на адаптивните и робастните системи за управление и роботиката. По негова инициатива бяха проведени първите изследвания у нас по робастно управление на еластични системи (манипулационни роботи), резултатите от които бяха публикувани в чужбина и са цитирани многократно в световната литература.

Доц. Лехов ще бъде запомнен като изключително етична личност във взаимоотношенията си с колегите и студентите. С неговата смърт общността по автоматика у нас губи един достоен човек и голям специалист.

Поклон пред паметта му!

От Съюза по автоматика и информатика „Джон Атанасов“