

Дуба І.Е.

Одеський національний політехнічний університет

Беглов К.В.

Одеський національний політехнічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ ПРИ ГЛИБОКИХ ЗБУРЕННЯХ ЗА ТЕПЛОТВОРНОЮ СПРОМОЖНІСТЮ ПАЛИВА

Використання біогазу є одним із перспективних напрямів розвитку енергетики України, але заміна природного газу на біогаз викликає низку проблем при експлуатації теплогенеруючого обладнання. Основною проблемою є коливання складу газу, що йде на горіння. Через різний склад газу відбуваються значні коливання витрат повітря і, як наслідок, змінюються властивості газоповітряного тракту і теплообмінних процесів. Розглянуто вплив зміни теплотворної спроможності палива, що подається до топкового пристрою на потужність водогрійної котельні. Заради досягнення поставленої мети вдосконалено математичну модель спалювання газоподібного палива шляхом врахування нелінійної залежності кількості тепла, що подається до топкового пристрою, та врахування зміни умов теплопередачі при значних коливаннях витрати димових газів. На базі розробленої імітаційної моделі 3 котлів КВГМ-50 проаналізовані динамічні характеристики у вигляді кривих розгону, отриманих при збуренні зміни теплотворної спроможності палива.

Ключові слова: біогаз, водогрійні котли, глибоке збурення, перехідний процес.

Постановка проблеми. Нині активно ведуться дослідження з використання поновлюваних джерел енергії. Зокрема, розглядаються питання використання як палива біогазу, отриманого шляхом переробки органічних відходів сільськогосподарської діяльності. Заміна природного газу на біогаз викликає низку проблем під час експлуатації теплогенеруючого обладнання.

Основною такою проблемою можна вважати значні коливання складу газу, що йде на горіння. Це викликає значні коливання витрати повітря і, як наслідок, зміну аеродинамічних властивостей газоповітряного тракту і теплообмінних процесів в ньому [1, с. 44–52].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження по спалюванню біопалива в котельних установках проводяться досить давно. Вже створено та експлуатується багато котельних установок, які використовують як основне паливо біогаз чи рідке біопаливо. Проте ті котли, що експлуатуються, вже розраховані на спалювання біогазу, причому вважається, що склад палива не змінюється.

Дослідження спалювання несертифікованого палива, до якого належить біогаз, проводились в обмеженій кількості робіт.

Так, математична модель спалювання несертифікованого палива розглянута у роботі М.В. Максимова, В.Ф. Ложечникова, Т.С. Добровольська,

А.В. Бондаренко [1, с. 44–52]. Проте як паливо розглянуто попутний нафтовий газ, який спалюється в паровому котлі.

У певних роботах [2, с. 32–36; 3, с. 79–84] показаний вплив складу палива на умови тепловіддачі у хвостових поверхнях нагріву котлів. Також, як й у попередній роботі, приклад був наведений для газу, теплотворна спроможність якого більша, ніж у природного газу.

Якщо ж спалювати газ із теплотворною спроможністю, меншою за природний газ, то як це показано в роботах таких авторів, як А.В. Лисюк і К.В. Беглов [4; 5], необхідно збільшувати площу теплообмінної поверхні з метою забезпечення постійної потужності котла.

Цього можна досягнути, використовуючи наявне теплогенеруюче обладнання, якщо включати або відключати його за необхідності.

Постановка завдання. Метою є дослідити вплив зміни кількості теплоти, що подається до топкового пристрою на потужність водогрійної котельні, зрівняти моделі котлів при глибоких збуреннях за кількістю теплоти.

Виклад основного матеріалу дослідження. Котельний агрегат представляється у виді теплообмінника. Основні рівняння, які описують процеси теплообміну в котлі, наведені в роботі «Водогрійна котельня як об'єкт керування потужності» [6, с. 109–115].

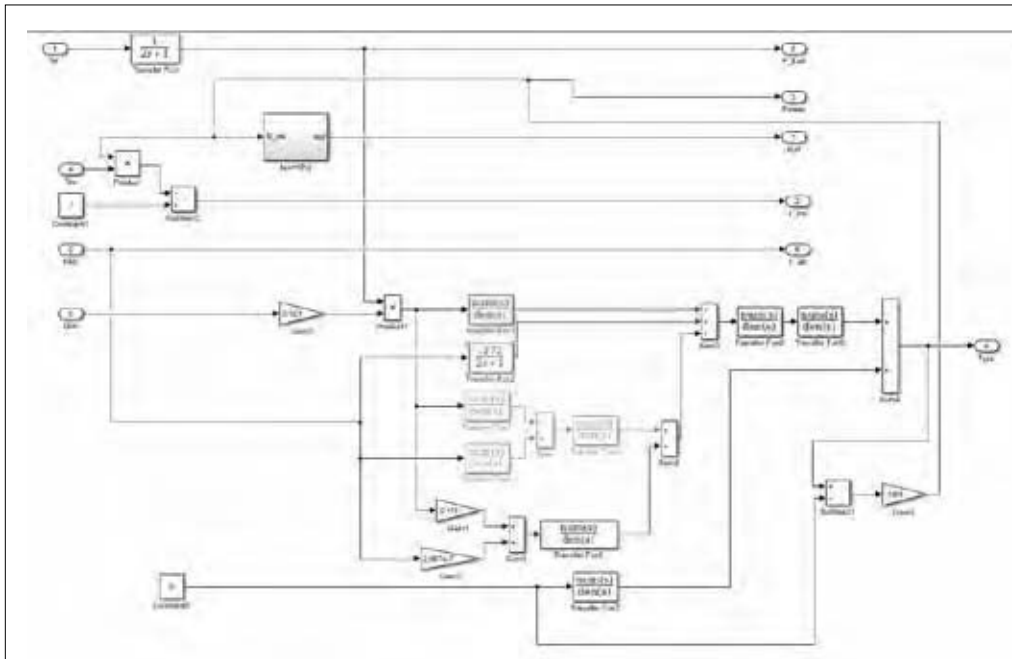


Рис. 1. Схема моделювання водогрійного котла

Кількість теплоти, що сприймається в конвективній частині залежно від витрати димових газів та кількості тепла, яке надійшло з радіаційної частини, описується рівняннями:

$$\Delta Q_F - c\bar{\vartheta}_{a1}\Delta M = \left(1 + \frac{M_c}{k_s}\right)\Delta Q_1 + \frac{m_1 c}{k_s} \frac{dQ_1}{dt}, \quad (1)$$

або

$$\frac{k_s}{k_s + M_c} \Delta Q_F - \frac{k_s c \bar{\vartheta}_{a1}}{k_s + M_c} \Delta M = \Delta Q_1 + \frac{m_1 c}{k_s + M_c} \frac{dQ_1}{dt}, \quad (2)$$

тут коефіцієнт $\frac{m_1 c}{k_s + M_c} = T$ має розмірність часу.

де

- ΔQ_F – тепловиділення в топці;
- c – питома теплоємність;
- ΔM – витрата води через котел;
- ϑ_{a1} – температура газів;
- k_s – коефіцієнт.
- m_1 – маса води в котлі;
- M_c – витрата води;
- ΔQ_1 – тепловий потік.

Для аналізу процесів, що відбуваються в конвективній частині котла, скористуємось рівняннями: необхідно, передусім, визначити температуру газів на виході з першої частини. Відповідні залежності можуть бути отримані з рівняння (2), якщо в ньому у відповідності з (1) виразити ΔQ_1 у вигляді функції $\Delta \vartheta_{a1}$. Після ділення на k_s одержуємо:

$$\frac{1}{k_s + M_c} \Delta Q_F - \frac{c\bar{\vartheta}_{a1}}{k_s + M_c} \Delta M = \Delta \bar{\vartheta}_{a1} + T_1 \frac{d\vartheta_{a1}}{dt}, \quad (3)$$

або після скорочення

$$\frac{a_1}{k_s} \Delta Q_F - \frac{b_1}{k_s} \Delta M = \Delta \vartheta_1 + T_1 \frac{d\vartheta_1}{dt}, \quad (4)$$

Якщо замість ΔM задана зміна коефіцієнту надлишку повітря, то за аналогією до (29) можна записати

$$\frac{a_1 - b_1 k_Q}{k_s} \Delta Q_F - \frac{b_1 k_a}{k_s} \Delta \pm = \Delta Q_1 + T_1 \frac{dQ_1}{dt}, \quad (5)$$

Для конвективних поверхонь нагріву справедливі рівняння:

теплого балансу на боці газу, що гріє:

$$M_{Ge} c_G \vartheta_{Ge} - M_{Ga} c_G \vartheta_{Ga} = Q + m_G c_G \frac{d\vartheta_{Gm}}{dt}, \quad (6)$$

балансу речовини на стороні газів:

$$M_{Ge} = M_{Ga}, \quad (7)$$

теплопередачі в системі «газ, що гріє, – труба» конвекцією

$$Q = k_4 M_G^{0.33} (\vartheta_m - \theta_m), \quad (8)$$

Вихідна величина першої частини котла $\Delta M_1 = \Delta M$ та $\Delta \vartheta_{a1}$ є вхідною величиною для другої частини, тобто

$$\Delta M_2 = \Delta M_1 \text{ и } \Delta \vartheta_{e2} = \Delta \vartheta_{a1}, \quad (9)$$

Написавши означені рівняння для малих відхилень і виключивши члени, які належать до статичного режиму, з (6) і (7) при $\vartheta_{m2} = 0.5(\vartheta_{e1} + \vartheta_{a2})$ одержуємо

$$c\vartheta_{e2}\Delta M_G + \bar{M}_G c \Delta \vartheta_{e2} - c\bar{\vartheta}_{a2}\Delta M - \bar{M}_G c \Delta \vartheta_{a2} = \Delta Q_2 + \frac{mc}{2} (\Delta \vartheta'_{e2} + \Delta \vartheta'_{a2}), \quad (10)$$

та з (8)

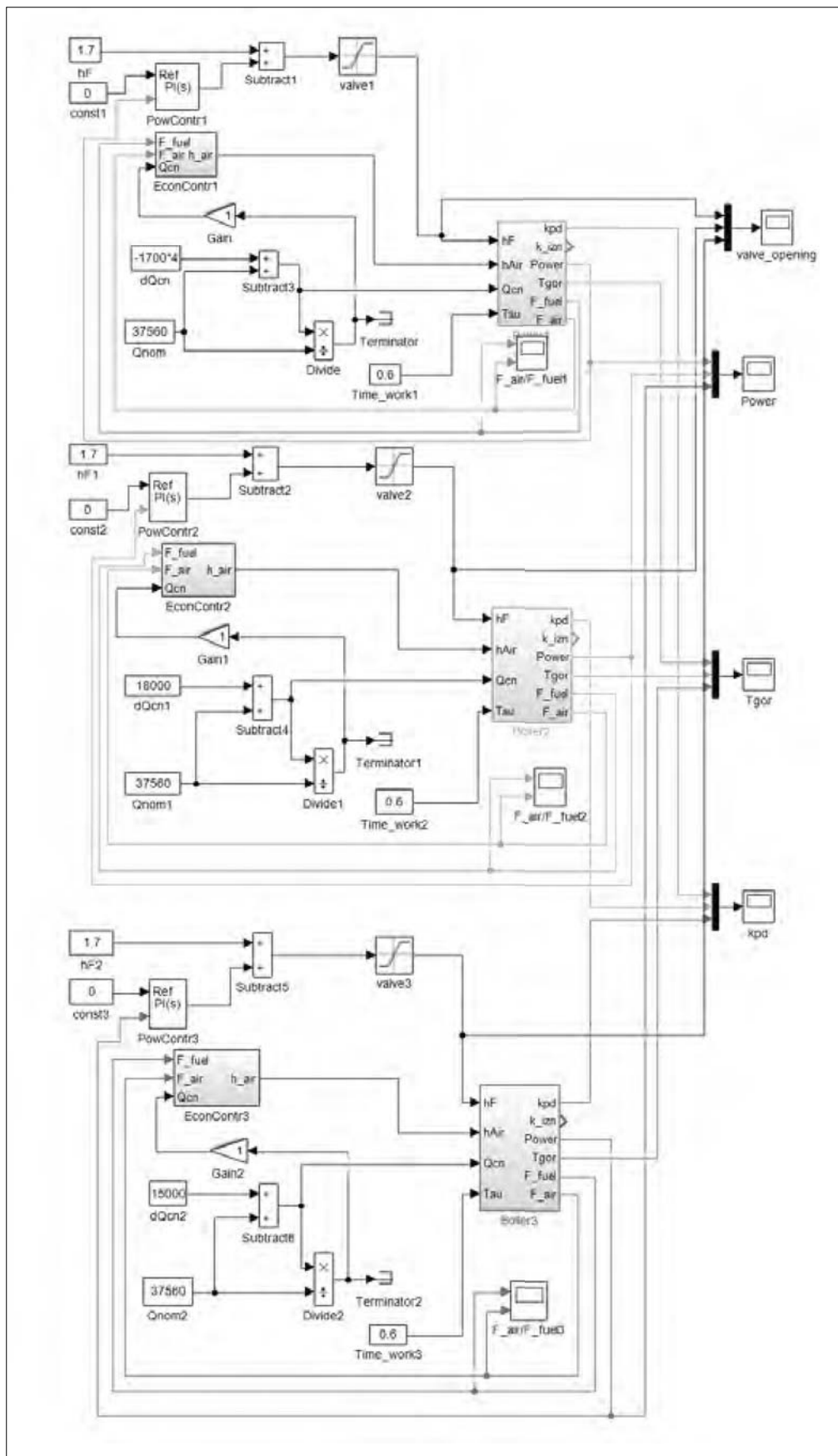


Рис. 2. Схема моделювання трьох водогрійних котлів при подачі на них різних збурень по тепловій спроможності палива

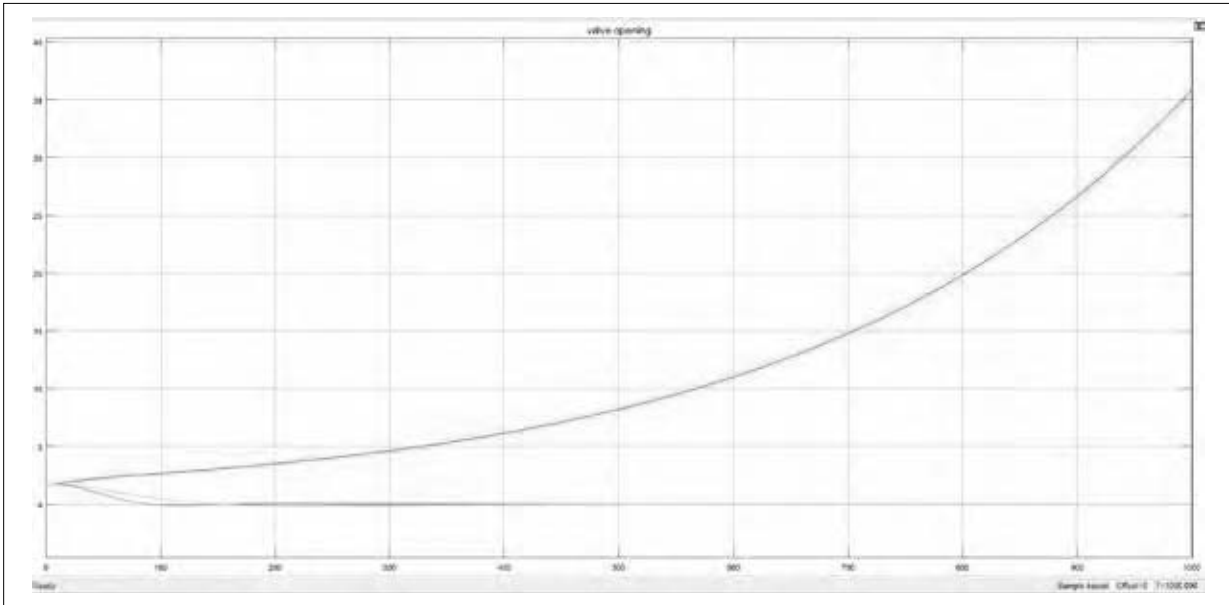


Рис. 3. Відкриття клапану

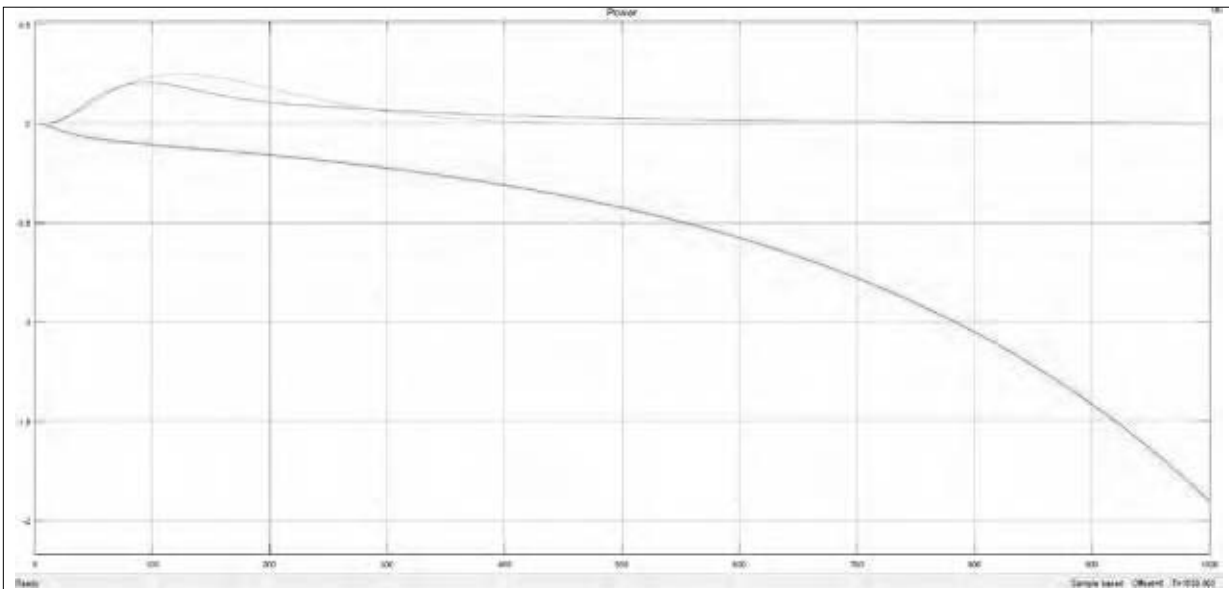


Рис. 4. Процес встановлення потужності на рівень норми після різних збурень

$$\Delta Q_2 = 0.33k_4 \bar{M}_G^{0.33} \frac{\bar{g}_{e2} + \bar{g}_{a2} - 2\theta_m}{2\bar{M}_G} \Delta M + 0.5k_4 \bar{M}_G^{0.33} (\Delta g_{e2} + \Delta g_{a2})$$

Реалізація розглянутої моделі з урахуванням роботи «Водогрійна котельня як об'єкт керування потужності» [6, с. 109–115] зроблено за допомогою частини схеми, наведеної на рисунку 1.

Входами моделі є Q_{sp} – відхилення теплотворної спроможності палива, hF – відхилення витрати палива, $hAir$ – відхилення витрати повітря. Вихідним параметром моделі є температура води на виході з котла.

В роботі було досліджено, чи зможе регулятор потужності при різних збуреннях теплового

навантаження встановити вихідну потужність на рівень норми.

На рисунку 3 показано, як відкритий клапан.

Рис. 4 показує, як поводить себе потужність при різних збуреннях.

Як видно з графіка, регулятор добре компенсує збільшення теплотворної здатності палива, але збурення зменшенням теплотворної здатності палива компенсується, якщо величина збурення не перевищує 15% від номінального значення. Це підтверджує дані, які наведені у роботі [4], і пов'язано з обмеженням пропускної здатності регулюючого органу.

Висновки. В роботі розглянуто вплив теплотворної спроможності палива на статичні та динамічні властивості водогрійного котла.

Отримала подальший розвиток математична модель водогрійного котла: відомі лінійні диференціальні рівняння були доповнені нелінійною залежністю їхніх коефіцієнтів від величини збурення теплотворною спроможністю палива.

Виявлено, що у разі збільшення теплотворної спроможності палива регулятор потужності добре компенсує збурення, але збурення зменшенням теплотворної здатності палива компенсується, якщо величина збурення не перевищує 15% від номінального значення, це пов'язано з обмеженням пропускної здатності регулюючого органу.

Список літератури:

1. Maksimov M.V., Lozhechnikov V.F., Dobrovolskaya T.S., Bondarenko A.V. Mathematical model of non-certified burning fuels. East European journal of advanced technologies. 2014. Vol. 2. No8 (68). P. 44–52. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/22420/21760>.
2. Brunetkin O.I., Gorban S.O. Heat transfer optimization of heat exchange surfaces of boiler equipment with decrease in consumption of combustion products. Proceedings of the Odessa Polytechnic University. 2017. Vol. 3(53). P. 32–36.
3. Brunetkin O.I., Gusak A.V. Determination of the range of change of the convective heat transfer coefficient during the burning of alternative types of gaseous fuel. Proceedings of the Odessa Polytechnic University. Vol. 2(46). P. 79–84.
4. Лысюк А.В. Усовершенствование АСУ барабанного котла для сжигания горючих искусственных газов. Автоматика–2017: XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління (м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 р.). Київ, 2017.
5. Лысюк А.В., Беглов К.В. Оптимизация работы группы котельных агрегатов при сжигании несертифицированного топлива. Автоматика–2017: XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління (м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 р.). Київ, 2017.
6. Вовк І.В., Дуба І.Е., Конушбаєва Т.В., Беглов К.В. Водогрійна котельня як об'єкт керування потужності. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. 2018. Том 29 (68). № 3. Ч. 1. С. 109–115.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ПРИ ГЛУБОКИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ ПО ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ ТОПЛИВА

Использование биогаза является одним из перспективных направлений развития энергетики Украины, но замена природного газа биогазом вызывает ряд проблем при эксплуатации теплогенерирующего оборудования. Основной проблемой являются колебания состава газа, идущего на горение. Из-за различного состава газа происходят значительные колебания расхода воздуха и, как следствие, меняются свойства газоздушного тракта и теплообменных процессов. Рассмотрено влияние изменения теплотворной способности топлива, подаваемого к топочному устройству на мощность водогрейной котельной. Для достижения поставленной цели усовершенствована математическая модель сжигания газообразного топлива путем учета нелинейной зависимости количества тепла, подаваемого к топочному устройству, и учета изменения условий теплопередачи при значительных колебаниях расхода дымовых газов. На базе разработанной имитационной модели 3-х котлов КВГМ-50 проанализированы динамические характеристики в виде кривых разгона, полученных при возбуждении изменения теплотворной способности топлива.

Ключевые слова: биогаз, водогрейные котлы, глубокое возмущение, переходный процесс.

MODELING OF WATER-HEATING BOILERS UNDER DEEP PERTURBENCES ON THE HEATING CAPACITY OF FUEL

The use of biogas is one of the promising areas for the development of the energy sector in Ukraine, but the replacement of natural gas with biogas causes a number of problems in the operation of heat generating equipment. The main problem is the fluctuation of the composition of the gas going to the combustion. Through a different composition of gas, significant fluctuations in air flow occur and, as a result, the properties of the gas-air duct and heat exchange processes change. The influence of the change in the calorific value of the fuel supplied to the combustion device on the capacity of a hot-water boiler is considered. To achieve this goal, the mathematical model of combustion of gaseous fuel has been improved by taking into account the non-linear dependence of the amount of heat supplied to the combustion device and taking into account changes in heat transfer conditions with significant fluctuations in flue gas flow. On the basis of the developed simulation model of 3 boilers KVGM-50, dynamic characteristics were analyzed in the form of acceleration curves obtained by initiating changes in the calorific value of the fuel.

Key words: biogas, water boilers, deep perturbation, transient process.