

**РОЗРОБКА ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО КОТЛА
ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ
ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ БІОВІДХОДІВ**

**© В.А. МАТВІЙЧУК, Н.Р. ВЕСЕЛОВСЬКА, доктори технічних наук
О.О. РУБАНЕНКО, кандидат технічних наук
Вінницький національний аграрний університет
О. М. ДМИТРИШЕН, інженер
Томашпільський цукровий завод**

Розроблено схему та основні конструктивні параметри газогенераторного котла. Запропоновано високоефективні способи виготовлення його основних елементів. Виготовлено дослідний зразок та встановлено його технологічні характеристики. Проаналізовано можливість використання газогенераторного котла як міні-ТЕЦ.

Газогенераторний котел, тверді види палива, міні-ТЕЦ.

Впровадження енергоощадних технологій та використання альтернативних видів палива є перспективним шляхом заощадження коштів і зменшення залежності від зарубіжних експортерів енергоресурсів, а також зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище [1]. Сучасний енергетичний стан країни переживає не найкращі часи, тому актуальним є перехід на відновлювальні джерела палива, такі як відходи садівництва, рослинництва, а також побутові відходи, і взагалі все що горить. В умовах підвищення цін на традиційні енергоносії та проблеми з їх видобутком та постачанням населенню перспективним є застосування і встановлення міні-ТЕЦ для населення. Така практика широко застосовується в країнах ЄС (Данія, Швеція, Німеччина, Фінляндія та ін.).

У дослідженнях, проведених і висвітлених в статтях Г.Г. Гелетухи, відзначається, що «біомаса як паливо впевнено посідає четверте місце у світі за обсягами виробництва та споживання енергії. Її частка у загальному постачанні первинної енергії сягає 10 %. У секторі виробництва теплової енергії біомаса також знаходиться на четвертому місці після вугілля, природного газу та нафти...». Це дає можливість зробити висновок про актуальність вдосконалення існуючих і розробки нових газогенераторних котлів на твердому біопаливі [2]. Слід зазначити, що в ЄС 15 % загального обсягу теплової енергії виробляється з біомаси, а Україна вже в 2020 році за рахунок використання біомаси зможе заощадити 3,5 млрд м³ природного газу [3].

Мета досліджень – розробка газогенераторного котла для спалювання сільськогосподарських біовідходів і побутового сміття з

високим ККД, а також розробка вискоефективних і маловідходних способів виготовлення його основних елементів.

Матеріали та методика досліджень. При розробці газогенераторного котла основним завданням було забезпечення простоти його конструкції і максимального коефіцієнта корисної дії. Дослідний зразок котла був створений на основі промислового автомобільного газогенератора. Принцип дії полягає в тому, що тверде паливо проходить через зону високої температури без достатньої кількості кисню. Під дією цієї температури паливо перетворюється в суміш горючих газів. В основі цих газів є горючий чадний газ.

На рис. 1 показано автомобільний газогенератор, який і є прототипом розробленого газогенераторного котла [5]. На рис. 2 наведено зовнішній вигляд дослідного газогенераторного котла, який був виготовлений за вдосконаленою нами схемою.

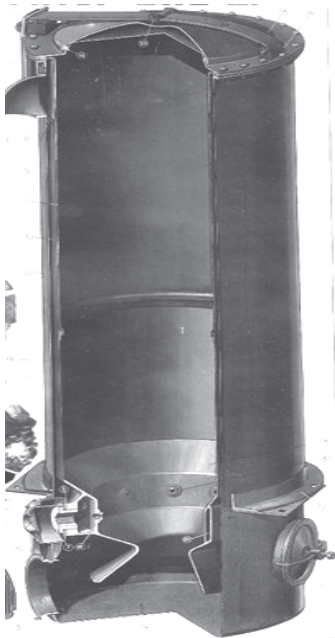


Рис. 1. Автомобільний газогенератор



Рис. 2. Дослідний зразок газогенераторного котла

На рис. 3–4 наведено деякі елементи газогенераторного котла:



Рис. 3. Зовнішній вигляд завантажувального бункера



Рис. 4. Вентилятор і засоби регулювання

На рис. 5 подано принципову схему розробленого газогенераторного котла.

Існуючі піролізні промислові котли нині є досить дорогими для звичайного споживача (населення та малого бізнесу). Їх вартість перевищує 12 тис. грн. за котел потужністю 10 кВт.

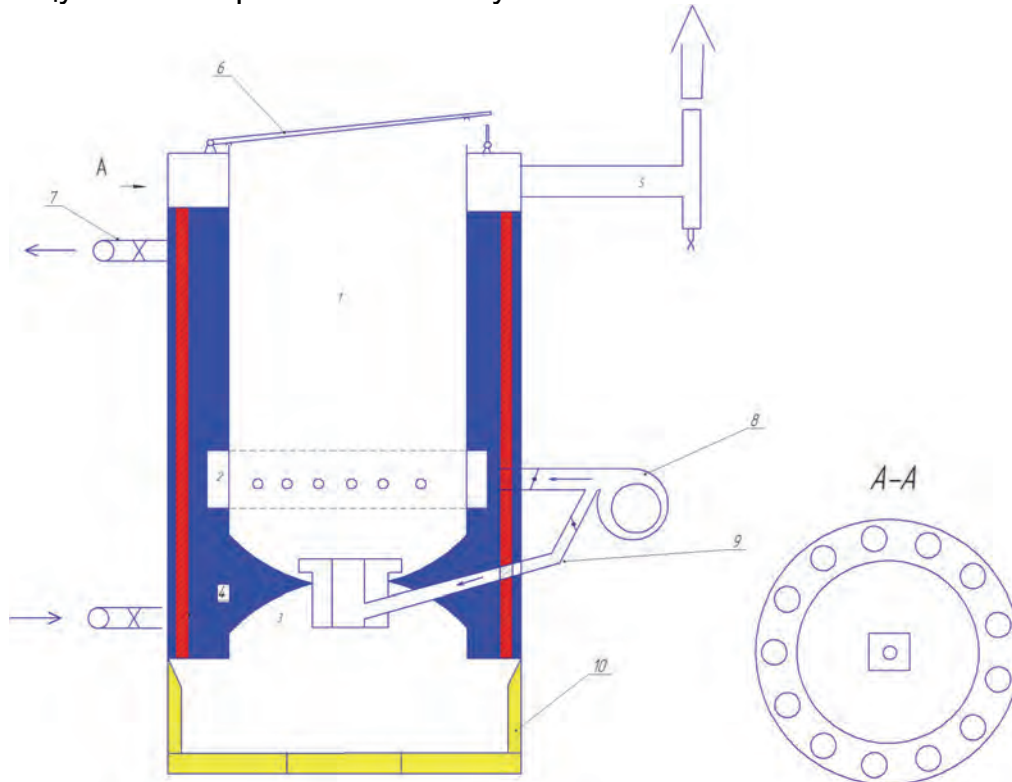


Рис. 5. Принципова схема газогенераторного котла:

- 1 – завантажувальний бункер; 2 – труба подачі первинного повітря;
- 3 – форсунка-змішувач; 4 – трубка теплообмінника; 5 – димохід;
- 6 – герметична кришка бункера; 7 – труби відведення гарячої води;
- 8 – вентилятор; 9 – трубка вторинного повітря; 10 – вогнетривка цегла

Тому, актуальною є задача створення вдосконаленого газогенераторного котла з меншою вартістю, що є можливим на основі спрощення конструкції і зменшення собівартості його виготовлення.

Результати досліджень. До основних вартісних елементів газогенераторного котла належить сталевий корпус із фланцями та сформованими кільцевими канавками (див. рис. 1, 2). Решта елементів є простими у виготовленні або належать до стандартних комплектуючих (вентилятор, крани). Тому, в цій роботі значна увага приділяється розробці саме корпуса і фланцевих елементів котла.

Для формування фланців на корпусі і кришці котла та окремих фланцевих елементів нами розроблено процес ротаційного відбортуння. На рис. 6 показано конструкцію і загальний вигляд розкочувальної головки, розробленої у вигляді приставки до лобового токарного верстата ЛТ2 для ротаційного відбортуння фланців.

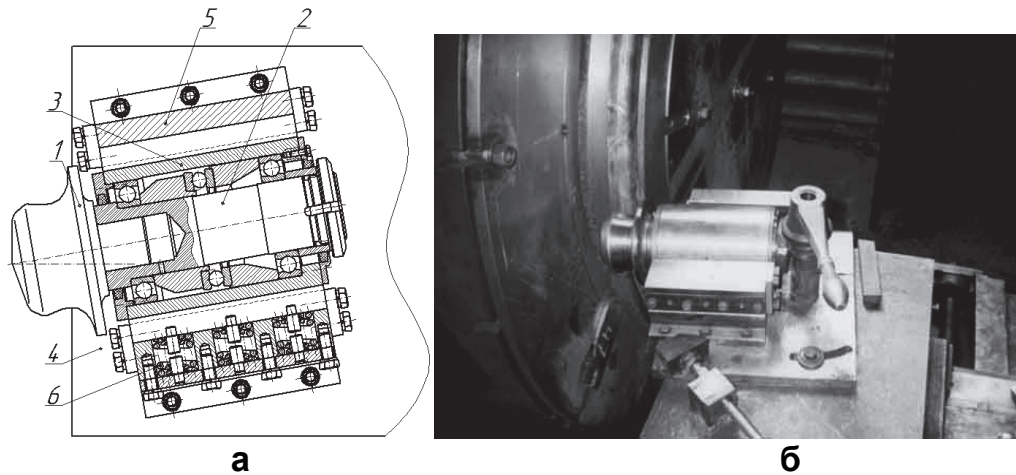


Рис. 6. Конструкція розкочувальної головки (а) і загальний вигляд розкочувальної приставки до лобового токарного верстата (б):
 1 – валок; 2 – вісь; 3 – втулка; 4 – супорт верстата; 5 – утримувач;
 6 – пружина

Сприяє ефективному формоутворенню фланців відкритий нами ефект впливу активних сил тертя на напрямок і інтенсивність плинущого матеріалу заготовки на контакт з валком [4]. Основними параметрами, що впливають на напрямок плинущого матеріалу заготовки при розкочуванні конічним валком, є кут нахилу α осі валка, а також величина і напрямок зміщення вершини валка δ відносно осі обертання заготовки. З використанням апарату аналітичної геометрії отримано залежність кута φ між векторами швидкості точок контактної поверхні заготовки і валка від параметрів процесу розкочування.

Кут φ між векторами швидкостей точок контактної поверхні заготовки і конічного валка від параметрів процесу розкочування визначається залежністю:

$$\varphi = \arctg \left[\frac{(k_1 - k_2)}{(1 + k_1 k_2)} \right], \quad (1)$$

де $k_1 = -x_0 / y_0$, $k_2 = m / l$ – кутові коефіцієнти проєкцій прямих, на яких лежать вектори швидкості точок заготовки і валка, на утворену розкочуванням площину. Залежність (1) кута φ від напрямку та величини зміщення валка δ при різних кутах нахилу його осі графічно подано на рис. 7, а, від радіуса заготовки – на рис. 7, б.

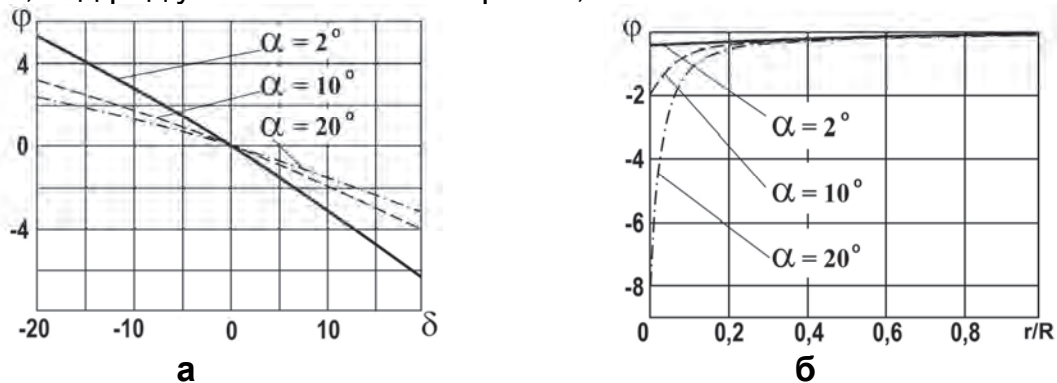


Рис. 7. Залежність кута φ від напрямку та величини зміщення валка δ (а) і радіуса заготовки (б) при різних кутах нахилу валка

Аналіз отриманих залежностей показує, що при додатному зміщенні вершини валка (від осі обертання заготовки в напрямку плями контакту) матеріал тече від центра заготовки ($\varphi < 0$), а при від'ємному – до центра ($\varphi > 0$).

Інтенсивність плинущого несиметрична відносно нульового зміщення, тобто матеріал інтенсивніше тече у напрямку від центра. При збільшенні кута α інтенсивність відцентрового плинущого збільшується. Максимальна інтенсивність плинущого спостерігається на відстані $r < 0,2R$ від центра заготовки (див. рис. 7, б).

Передбачене в пристрої підпружинення розкочувального валка пружинами 6 запобігає перевантаженню пристрою у випадку значного радіального биття заготовки, а також сприяє формуванню фланців з від'ємним кутом нахилу бокової поверхні оправки для компенсації пружних деформацій заготовки від залишкових напружень. Пристрій є досить простим і зручним для переналаджування процесу у випадку формування різних виробів.

Загальний вигляд отриманих ротаційним відбортуванням кришок з фланцями показано на рис. 8. Час формування фланця становить 30-60 с. Точність розмірів виготовлених деталей залежить, переважно, від точності оправки. Відхилення по товщині стінки заготовки на ділянці пластичного формоутворення не перевищує 0,03 мм, що забезпечується підпружиненням валка.



Рис. 8. Вироби, отримані ротаційним відбортуванням круглих листових заготовок

Шорсткість обробленої поверхні заготовки не перевищувала значень $R_a = 0,16$ мкм. За рештою видів допусків радіального і торцевого биття, циліндричності та ін. отримані вироби цілком задовольняють технічним вимогам. Важливою операцією виготовлення корпусу газогенератора є також формування на ньому кільцевих канавок. Для цього нами був розроблений процес обтиснення обкочуванням корпусу циліндричними роликками.

Процес обтиснення обкочуванням виявився стабільним і продуктивним, проте супроводжувався значним потоншенням стінки в зоні утворення кільцевої канавки. Тому, розробка процесу полягала у визначенні параметрів обкочування, які забезпечують формування максимальної за глибиною канавки при мінімізації локального потоншення стінки і запобігають руйнуванню матеріалу.

Для оцінки граничного стану заготовки при обкочуванні необхідно знати напружено-деформований стан (НДС) матеріалу в пластичній зоні. З цією метою було розглянуто обтиснення тонкостінної труби з товщиною стінки s , радіусом $d/2$ у кільцеву щілину шириною $b=2L$. Матеріал заготовки прийнято жорстко пластичним, анізотропним, ізотропно зміцнювальним, для якого справедливою є умова плинності Мізеса - Хілла. Напружений стан прийнято плоским за наявності в стінці меридіонального і колового напружень. При цьому умова плинності і асоційований закон плинності мають вигляд:

$$A\sigma_\varphi^2 + B\sigma_\mu^2 + C(\sigma_\varphi - \sigma_\mu)^2 = 1 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} d\varepsilon_\varphi &= d\lambda[A\sigma_\varphi + C(\sigma_\varphi - \sigma_\mu)]; \\ d\varepsilon_\mu &= d\lambda[B\sigma_\mu + C(\sigma_\mu - \sigma_\varphi)]; \\ d\varepsilon_r &= d\lambda[A\sigma_\varphi + B\sigma_\mu], \end{aligned} \quad (3)$$

де σ_φ , σ_μ – колове і меридіональне напруження; A , B , C – параметри, які характеризують поточний стан анізотропії. Осі φ, μ, r мають коловий, меридіональний та радіальний напрямки і збігаються з головними осями анізотропії.

Записавши рівняння руху деформованої оболонки з радіусами кривизни в меридіональному і коловому напрямках R_μ, R_φ , що виражені через геометричні параметри заготовки, та використавши рівняння (2) і (3), були отримані формули для визначення компонент напружень:

$$\begin{aligned} \sigma_\mu &= \pm \sigma_T \sqrt{(1 + \kappa_\mu) / [1 + \kappa_\mu (H - 1)^2 + (\kappa_\mu / \kappa_\varphi) H^2]}; \\ \sigma_\varphi &= H \sigma_\mu; \\ H &= -[1 - \gamma(1 + 2\kappa_\mu)] / [\kappa_\mu / \kappa_\varphi + \gamma(\kappa_\mu / \kappa_\varphi + 2\kappa_\mu)]; \\ \gamma &= \dot{\varepsilon}_r / \left(\dot{\varepsilon}_\mu - \dot{\varepsilon}_\varphi \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Тут: σ_T – границя плинності матеріалу; $\dot{\varepsilon}_r, \dot{\varepsilon}_\mu, \dot{\varepsilon}_\varphi$ – компоненти швидкостей деформацій; $\kappa_\mu = C/B$, $\kappa_\varphi = C/A$ – коефіцієнти анізотропії матеріалу відповідно у меридіональному та коловому напрямках.

Аналіз формул (4) показав, що при обтискуванні характер НДС змінюється вздовж твірної від одно - двовісного розтягу в центральній частині, до двовісного стиску на краю канавки.

Для експериментального дослідження НДС нами був використаний метод вимірювання сіток та мікротвердості. На рис. 9 показана схема замірів мікротвердості і товщини стінки корпусу в зоні кільцевої канавки.

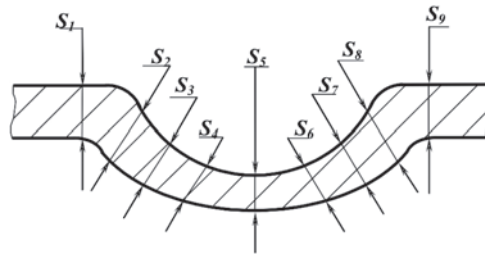


Рис. 9. Схема замірів мікротвердості і товщини стінки корпусу в зоні кільцевої канавки

За результатами вимірювань було встановлено, що на початкових стадіях обтискування, на краях канавки (перерізи S1, S9), спостерігається збільшення діаметра корпусу (<1%). Цей ефект викликаний потовщенням стінки внаслідок утворення пластичної хвилі і підтверджує наявність тут напружень стиску. По мірі збільшення ступеня обтискування товщина стінки біля краю канавки не змінюється, а деформування відбувається безпосередньо в зоні канавки.

При формуванні канавки шириною $b=20$ мм максимальне потоншення стінки відбувається на ділянках, обмежених перерізами S4 – S6. При досягненні певного ступеня обтискування на дні канавки відбувається локальне потоншення і виникає кільцева тріщина.

Для запобігання утворенню смуги зосередженого потоншення в технологічних умовах необхідно створити певну ступінь двовісного розтягу. В цьому випадку смуга зосередженого потоншення може бути настільки розмитою, що локалізація деформації не призведе до негайного вичерпання здатності листового матеріалу до деформування.

Дослідження НДС формованої кільцевої канавки показало, що воно залежить від відносних розмірів та форми інструменту і заготовки. Тому, зміною таких основних параметрів, як меридіональний радіус робочої поверхні ролика R_{μ} і ширини ролика b , можна впливати на характер НДС деформованої ділянки. Зокрема застосування ролика з $b=10$ мм призвело до того, що в процесі обкочування, в зоні перерізів S4 – S6, став переважати двовісний розтяг, а одновісний розтяг спостерігався вже в зоні перерізів S3 і S7. Тут же мало місце і максимальне потоншення стінки корпусу. Таким чином, комбінуючи геометричні параметри обкочувальних роликів, можна змінити місце знаходження зон максимального потоншення стінки. Обтискування заготовки на початкових стадіях роликком з відносно більшою шириною, а на заключних етапах роликком з меншою шириною і радіусом робочої поверхні дозволяють збільшувати ступінь обтискування корпусу, а отже і глибину кільцевої канавки. В цілому, застосування процесів ротаційного відборткування фланців і формування ротаційним обтискуванням кільцевих канавок дозволяють суттєво мінімізувати собівартість виготовлення основних елементів газогенераторного котла.

Ефективність та економічність роботи газогенераторного котла. Шляхом експериментальних досліджень було встановлено, що спалювання 3–5 кг твердої породи деревини дозволяє нагріти та довести до кипіння 180 л

води протягом 2 год, з яких 30 хв котел виходить на режим піролізу. Для опалювання приміщення площею 200 м² котел спалює від 40 кг до 60 кг твердої породи деревини за добу. Витрата палива залежить від температури навколишнього середовища. В запропонованому котлі можна спалювати побутові відходи: полімери, пластмаси, гуму та ін. з мінімальним забрудненням навколишнього середовища. В перспективі на основі газогенераторного котла планується реалізувати міні ТЕЦ, блок-схема якої наведено на рис. 10.

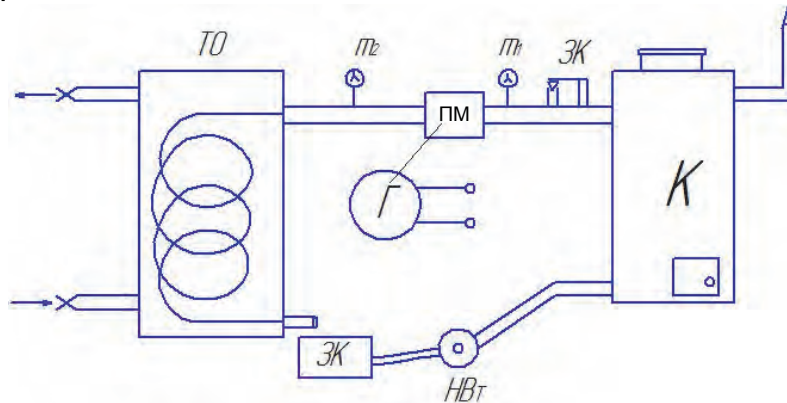


Рис. 10. Схема міні-ТЕЦ:

К – котел; ЗК – зливний клапан; М – манометр; ПМ – парова машина;
Г – генератор; ТО – теплообмінник; ЗБ – збірник конденсату;
НВТ – насос високого тиску

Висновки. Нині проводяться експерименти з газогенераторним котлом для переведення його на режим пароутворення з метою генерування електроенергії за допомогою парової турбіни та парової машини.

У зв'язку з тим, що парова турбіна створює багато шуму і викликає дискомфорт у підсобному господарстві планується використовувати парові машини на основі промислового двигуна внутрішнього згорання шляхом заміни в ньому газорозподільчого механізму та модернізації системи змащування.

Список літератури

1. Степанов Д.В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності / Д.В. Степанов, Л.А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 148 с.
2. Гринюк І. Від природного газу до біомаси / І. Гринюк // Журнал сучасного сільського господарства. – 2009. – № 4 (35). – С. 10–14.
3. Гелетуха Г.Г. Україна может сэкономить 3,5 млрд кубометров газа, используя биомассу [Электронный ресурс] / Г.Г. Гелетуха. – Режим доступа: <http://news.finance.ua/ru/news/~/322888>.
4. Матвийчук В.А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: монография / В.А. Матвийчук, И.С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 268 с.
5. Пат. 85070 Україна, МПК8 F24D/08. Газогенераторний твердопаливний котел / Бассараба С.В.; заявник і патентоутримувач Бассараба Сергій Володимирович; заявл. 10.04.2013; опубл. 11.11.13, Бюл. №21.

6.Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили: учеб. пособие / Г.Г. Токарев. – М.: Машгиз, 1955. – 204 с.

Разработана схема и основные конструктивные параметры газогенераторного котла. Предложены высокоэффективные способы изготовления его основных элементов. Изготовлен опытный образец и установлены его технологические характеристики. Проанализирована возможность использования газогенераторного котла в качестве мини-ТЭЦ.

Газогенераторный котел, твердые виды топлива, мини-ТЭЦ.

The scheme and basic design parameters of gas generator boiler is designed. A highly effective ways of making its basic elements are proposed. Manufactured prototype and set its technological characteristics . The possibility of using gas generator boiler mini-CHP is analyzed.

Gas-generating boilers, solid fuels, mini-CHP.

УДК 631.311.6

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И УПРАВЛЕНИЕМ ГЕНЕРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**С.А. ЛАПШИН, генеральный директор ООО «ОКБ ВЭС», г. Калуга
В.В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук
В.А. ГУСАРОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского
хозяйства», г. Москва**

Разработана система управления генерацией в зависимости от потребления электроэнергии и возможности использования возобновляемых источников энергии. В качестве физической среды для передачи широкополосных сигналов управления генерацией в такой системе планируется использование физической среды передачи электроэнергии.

Возобновляемые источники энергии, генерирующие мощности, система управления, сети низкого напряжения, PLC, распределенная генерация, система управления генерацией, широкополосный доступ, КПД.

В настоящее время использование локальных генерирующих мощностей, не связанных с магистральными сетями и работающих для обеспечения потребностей в электроэнергии небольших территорий

© С.А. ЛАПШИН, В.В. ХАРЧЕНКО, В.А. ГУСАРОВ, 2015