УДК 628.336.6

Ю. В. Волошина
Г. С. Ратушняк

ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПРОЦЕСУ УТИЛІЗАЦІЇ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СТОКІВ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано технологічну схему локальної утилізації каналізаційних стоків житлової будови з отриманням біогазу. Установка призначена для розміщення безпосередньо в підвальному приміщенні та забезпечує переробку стоків у біогаз і знезаражений осад. Описано принцип роботи, склад обладнання та очікувані техніко-економічні показники.

Ключові слова: біогаз, анаеробне бродіння, каналізаційні стоки, утилізація відходів, біореактор, локальні очисні споруди, підвальне розміщення.

Abstract

A technological scheme for local utilization of residential building sewage with biogas production is proposed. The installation is designed for placement directly in a basement and provides processing of sewage into biogas and disinfected sludge. The principle of operation, equipment composition, and expected technical and economic indicators are described.

Keywords: biogas, anaerobic digestion, sewage, waste utilization, bioreactor, local treatment facilities, basement placement.

Вступ

Проблема поводження з каналізаційними стоками житлових будівель є однією з найгостріших у комунальному господарстві. Щодня будинок скидає значний обсяг стічних вод (у середньому близько 200 літрів на одну людину), які містять органічні речовини. Традиційно вони відводяться на централізовані очисні споруди, що потребує витрат на транспортування та перероблення, а органічна складова стоків при цьому не використовується, хоча є цінним енергетичним ресурсом.

Водночас зростання вартості енергоносіїв та посилення екологічних вимог змушують шукати локальні рішення для утилізації стоків. Перспективним напрямом є анаеробне зброджування стоків безпосередньо на місці - у підвалі будівлі. У процесі бродіння органіка розкладається без доступу кисню з утворенням біогазу, основу якого становить метан. Отриманий газ можна використовувати для опалення, підігріву води або виробництва електроенергії, а залишковий осад - для подальшої утилізації.

Ідея установки полягає в тому, щоб не відводити стоки назовні, а переробляти їх на місці. Це зменшує навантаження на централізовану мережу, дає додаткове джерело енергії та скорочує обсяг осаду, який потрібно вивозити. Однак розміщення в підвалі висуває підвищені вимоги до конструкції: обмежений простір, підтримання стабільної температури, герметичність і безпека експлуатації.

Метою роботи є розроблення технологічної схеми утилізації каналізаційних стоків житлової будівлі для отримання біогазу, придатної для компактного розміщення в підвалі.

Результати досліджень

Установка призначена для прийому каналізаційних стоків житлової будови, їх анаеробного зброджування, збору та зберігання біогазу, використання отриманого газу для потреб будівлі, а також знезараження та ущільнення залишкового осаду. Основне завдання полягає в тому, щоб забезпечити стабільний і безперервний процес бродіння в умовах обмеженого підвального простору, де неможливо

розмістити громіздкі споруди відкритого типу. Саме тому конструкція установки передбачає вертикальне компонування реакторів та компактне розміщення допоміжного обладнання (рис. 1).

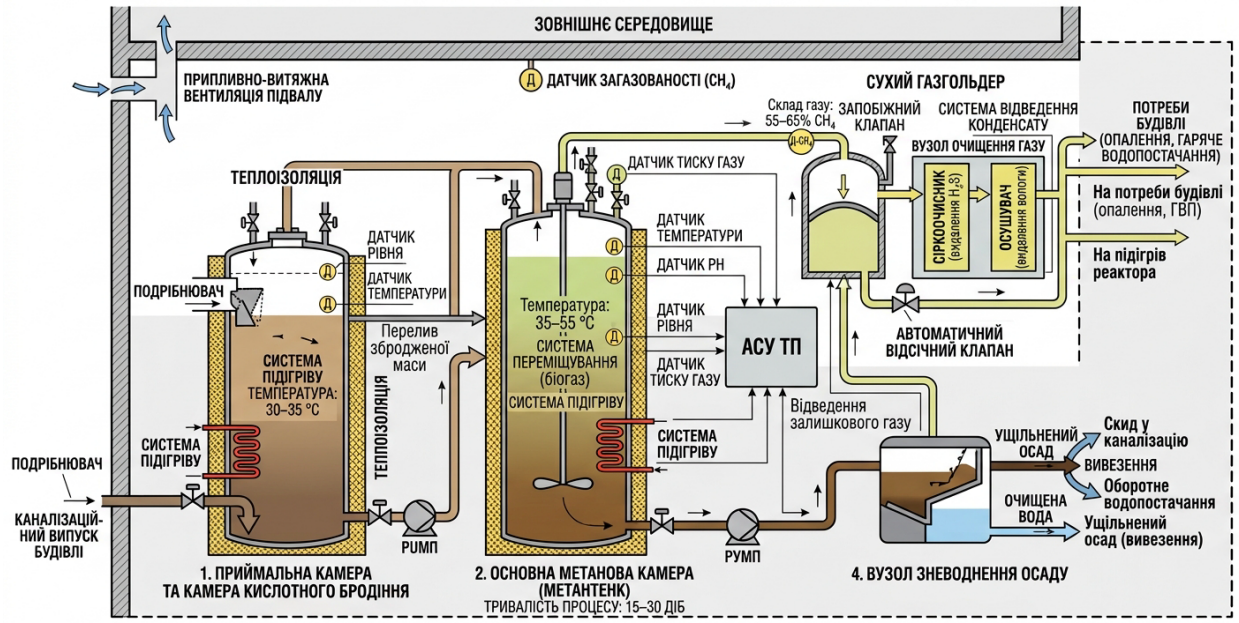


Рисунок 1 - Схематичне зображення модернізованої установки анаеробного зброджування каналізаційних стоків

Технологічна схема включає приймальну камеру, яка збирає стоки з каналізаційного випуску будівлі та обладнана подрібнювачем для гомогенізації стоків і затримання великих включень. Далі стоки надходять у камеру кислотного бродіння, де відбувається розщеплення складних органічних сполук за температури 30–35 °C. Ключовим вузлом є основна метанова камера, або метантенк, у якій анаеробні бактерії перетворюють органіку на метан і вуглекислий газ. Метантенк обладнаний системою перемішування та підігріву. Для збору та зберігання біогазу передбачено газгольдер, оснащений запобіжним клапаном та системою відведення конденсату. Система контролю включає датчики температури, кислотності, рівня стоків та тиску газу, що дозволяє автоматично підтримувати оптимальні умови бродіння. Завершальним елементом є вузол зневоднення осаду, який відділяє залишковий осад від очищеної води.

Процес відбувається циклічно-безперервно. Стічні води з будівлі самопливом або насосом надходять у приймальну камеру, де подрібнювач подрібнює великі включення, а стоки перемішуються до однорідної маси. Після підготовлення маса подається в камеру гідролізу, де під дією кислотоутворювальних бактерій органіка розщеплюється на жирні кислоти, спирти та інші прості сполуки. Температура в цій камері підтримується на рівні 30–35 °C. Далі підготовлена маса надходить у метантенк, де метаногенні бактерії перетворюють кислоти на метан та вуглекислий газ. Процес триває від 15 до 30 діб залежно від температури та складу стоків. Біогаз, що утворюється, збирається у газгольдері. Вміст метану в ньому становить 55–65 %. Газ може використовуватися для підігрівання самого реактора, опалення приміщень або виробництва електроенергії. Після завершення бродіння суміш розділяється: рідка фракція повертається в оборот або скидається, а ущільнений осад вивозиться як органічне добриво.

Оскільки установка розміщується в підвалі, до неї висуваються підвищені вимоги. Компактність забезпечується вертикальним компонуванням реакторів, що дозволяє заощадити площу приміщення. Герметичність усіх з’єднань є обов’язковою умовою, щоб уникнути витоку метану. Приміщення обладнується припливно-витяжною вентиляцією для відведення можливих витоків газу. Реактори вкриті теплоізоляційним шаром для зменшення тепловтрат. Крім того, встановлюються датчики загазованості та автоматичні відсічні клапани, що підвищує безпеку експлуатації.

Основним показником ефективності установки є вихід біогазу, який розраховується через хімічне споживання кисню (ХСК) - кількість кисню, необхідну для окиснення органічних речовин у стоках.

Стехіометрично 1 кг видаленого ХСК утворює близько 0,35 м³ метану за нормальних умов. З урахуванням температурної поправки об'єм метану визначається за формулою:

$$V_{CH_4} = 0{,}35 \cdot DQO_{CH_4} \cdot \frac{273 + T}{273} \qquad (1)$$

де V_{CH4} - об'єм метану, м³/добу; DQO_{CH4} - маса ХСК, що перетворилася на метан, кг/добу;
T - температура в метантенку, °С.

Для житлової будівлі на 100 мешканців добовий об'єм стоків становить приблизно 20 м³, а концентрація ХСК у них - близько 0,5 кг/м³. Таким чином, загальна маса ХСК становить 10 кг/добу. За умови видалення 70 % ХСК у метантенку маса ХСК, що перетворюється на метан, дорівнює 7 кг/добу. Підставивши це значення у формулу за температури 35 °С, отримуємо:

$$V_{CH_4} = 0{,}35 \cdot 7 \cdot \frac{273 + 35}{273} \approx 2{,}76 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}} \qquad (2)$$

За вмісту метану в біогазі 60 % загальний об'єм біогазу становитиме близько 4,6 м³/добу. Енергетична цінність такого об'єму - приблизно 100–110 МДж/добу, що еквівалентно 2,8–3,1 кВт·год електроенергії або 2,5–2,7 м³ природного газу. Частина цього газу (близько 25–35 %) витрачається на підігрів самого реактора, решта може бути використана для потреб будівлі - опалення, гарячого водопостачання або виробництва електроенергії.

Окрім енергетичного ефекту, установка забезпечує зменшення обсягу осаду, що підлягає вивезенню, на 40–50 %, а також зниження навантаження на централізовану каналізаційну мережу. Очищена вода після зневоднення може бути повернута в оборотне водопостачання або скинута в каналізацію.

Висновок

Запропонована технологічна схема призначена для утилізації каналізаційних стоків житлової будівлі безпосередньо на місці - у підвалі - і отримувати з них біогаз. Замість того, щоб просто відводити стоки в міську мережу, будинок сам їх переробляє й отримує з цього енергію. Органічна складова стоків під дією анаеробних бактерій розкладається без доступу кисню, утворюючи метан, який можна використовувати для опалення, гарячого водопостачання або виробництва електроенергії. Частина отриманого газу повертається на підігрів самого реактора, тому установка частково сама себе забезпечує енергією.

Це дає кілька практичних ефектів. По-перше, будинок зменшує споживання зовнішніх енергоносіїв - газу чи електрики - за рахунок власного біогазу. По-друге, знижується навантаження на централізовану каналізаційну мережу, бо стоки переробляються на місці. По-третє, значно зменшується обсяг осаду, який потрібно вивозити - приблизно на 40–50 %, а це пряма економія на транспортуванні та утилізації. По-четверте, очищена вода після зневоднення може бути повернута в оборотне водопостачання або скинута в каналізацію вже без шкоди для довкілля. Загалом це зменшує екологічне навантаження на район і робить будинок частково автономним у питаннях енергії та водовідведення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравченко В. І. Застосування осадів стічних вод для підвищення енергоефективності роботи комунальних очисних споруд. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. Херсон : ХДАЕУ, 2025. Вип. 4, ч. 2. С. 236–242. DOI: https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.4.2.25 .
2. Кравченко В. І. Підвищення ефективності процесу ферментації осадів стічних вод для покращення енергозабезпеченості очисних споруд. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. Херсон : ХДАЕУ, 2025. Вип. 6. С. 47–54. DOI: https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.6.47
3. Куріс Ю. В. Енергетичні аспекти біогазових технологій. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. Харків, 2013. № 3. С. 33–38.
4. ДСТУ 8727:2017. Осад стічних вод. Підготування органо-мінеральної суміші з осаду стічних вод. [Чинний від 2017-07-31]. Київ, 2017. 13 с.
5. Кравченко В. І., Білоус Ю. В., Кравченко В. П. Створення та обґрунтування композитного палива на основі осаду стічних вод. *Технічні науки*. Херсон : ХДАЕУ, 2023. № 3. С. 88–94 .
6. Прокопенко С. В. Біотехнологія переробки осадів станції очищення стічних вод міста : дипломний проєкт ... бакалавра : 162 Біотехнології та біоінженерія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 75 с. .

7. Ратушняк Г. С. Енергоефективні технологічні процеси та обладнання біоконверсії : монографія / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 148 с.
8. Ратушняк Г. С. Біогазові установки з відновлюваними джерелами енергії термостабілізації процесу ферментації біомаси / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк, І. А. Кошеєв. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 84 с.

Волошина Юлія Володимирівна – студентка групи СМ-24б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yulkapechalka85@gmail.com

Ратушняк Георгій Сергійович – професор, завідувач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ratusnakg@gmail.com ORCID 0000-0001-9656-5150

Yuliia Volodymyrivna Voloshyna – student of group SM-24b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: yulkapechalka85@gmail.com

Heorhii Serhiiovych Ratushniak – Professor, Head of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ratusnakg@gmail.com ORCID 0000-0001-9656-5150