

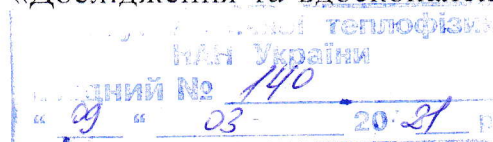
Спеціалізованій вченій раді Д 26.224.02 у
Інституті технічної теплофізики
Національної академії наук України

ВІДГУК

офіційного опонента, професора кафедри тракторів, автомобілів та біоенергосистем Національного університету біоресурсів і природокористування України, доктора технічних наук, професора *Голуба Геннадія Анатолійовича* на дисертаційну роботу *Гелетухи Георгія Георгійовича* на тему *“Науково-технічні засади виробництва енергії з біологічних видів палива”*, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії

Актуальність роботи. Дисертаційна робота *Гелетухи Г.Г.* присвячена вирішенню однієї із актуальних проблем сучасності – підвищенню ефективності виробництва енергії із біологічних видів палива при спалюванні та анаеробному зброджуванні шляхом розроблення науково-технічних засад процесів заготівлі, обробки аграрної біомаси та виробництва енергії з твердих видів біопалива, біогазу і біометану. Світ рухається в сторону скорочення споживання викопних видів палив та впровадження відновлюваних джерел енергії, а тому науково-технічне обґрунтування виробництва енергії із біологічних видів палива для забезпечення найбільш прийнятних варіантів декарбонізації економіки України є актуальною науково-технічною проблемою.

Дослідження за темою дисертації виконано згідно з планом науково-дослідної тематики відділу теплофізичних проблем систем теплопостачання Інституту технічної теплофізики НАН України, а саме: договір з НАН України №43 «Розробка концепції розвитку біоенергетики в Україні», в рамках цільової програми прикладних досліджень НАН України «Біопаливо» у 2007-2009 рр.; договір з МОН України № М/79-2008 «Дослідження горіння побічної продукції кукурудзи з метою виробництва енергії»; договір з НАЕР № 2/08 «Дослідження та аналіз потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та створення на їх основі Атласу енергетичного потенціалу НВДЕ в Україні», 2008 р.; договір з НАН України № Об 7.7 «Оцінка технічних можливостей, енергетичної, економічної та екологічної ефективності використання біомаси на ТЕС, ТЕЦ та когенераційних станціях в Україні» комплексної програми НАН України «Об'єднання» у 2010 - 2012 рр.; прикладна робота № 1.7.1.824 «Розробка теплотехнологічних заходів щодо виробництва теплової енергії в котельних комунального господарства з використанням місцевих палив» (2009-2011рр.); прикладна робота № 1.7.1.850 «Дослідження процесів і технологій виробництва теплоти та електроенергії з біомаси». 2012 – 2014 рр., постанова бюро ВФТПЕ НАН України від 06.12.2011 р. протокол № 17, §91 (№ держреєстрації 0112U005080); прикладна робота № 1.7.874 «Дослідження та вдосконалення



технологій спалювання та анаеробного зброджування біомаси аграрного походження». 2015 – 2019 рр., постанова бюро ВФТПЕ НАН України від 30.09.2014 р. протокол № 13, §70 (№ держреєстрації 0115U000773) та міжнародний контракт з компанією «RSJ Investments investiční společnost a.s.» (Чехія) № 3003/2018 «Вибір регіону України для можливостей інвестування в біоенергетичний проект».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та новизна. Головні положення дисертації, висновки і рекомендації достатньо обґрунтовані. Автором проведено ряд теоретичних та експериментальних досліджень на основі відомих методик розрахунку, планування та обробки одержаних даних. У достатньому обсязі представлено літературний огляд, надані пропозиції виробництву та загальні висновки щодо проведеної роботи.

Дослідження приведені в дисертаційній роботі складаються із аналізу сучасного стану та прогнозів виробництва енергії з біологічних видів палива, методів спалювання та особливостей анаеробної ферментації біомаси, окреслення мети і завдань досліджень, теоретичних та експериментальних досліджень. Робота містить висновки та рекомендації для науки та виробництва. Всі дослідження ґрунтуються на об'єктивних даних, які достатньо представлені в тексті дисертаційної роботи.

Головне наукове положення дисертації полягає в тому, що підвищення ефективності виробництва енергії із біологічних видів палива при спалюванні та анаеробному зброджуванні може бути досягнуто шляхом розробки теоретичного обґрунтування і методологічного апарату, методів та засобів використання твердих біологічних видів палива, отриманих із аграрної сировини і на цій основі розробки відповідної нормативно-правової бази в галузі виробництва і використання біопалив. Це дало змогу розробити прогноз щодо загальної встановленої потужності біоенергетичного обладнання у 2050 році на рівні 49,6 ГВт_т і 5,2 ГВт_{ел}, загального споживання біопалив – 20,28 млн т н.е./рік, заміщення природного газу в обсязі 20 млрд м³/рік та можливості створення до 160 тис. робочих місць.

Висновки дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими, вони підтверджені необхідною кількістю теоретичних та експериментальних досліджень, виконаних у лабораторних та виробничих умовах.

Перший пункт висновків констатує факт розробки науково обґрунтованих методичних засад оцінювання енергетичного потенціалу біомаси, які охоплюють оцінку теоретичного, технічно досяжного та економічно доцільного потенціалу біомаси із урахуванням нових складових біомаси, а саме сухостою, деревних відходів від реконструкції захисних лісосмуг, відходів обрізки та викорчовування багаторічних сільськогосподарських насаджень, біогазу з лігноцелюлозних відходів та побічної продукції АПК, біогазу зі стічних вод.

У другому пункті висновків автор констатує факт розробки дорожньої карти розвитку біоенергетики України до 2050 р.

У третьому пункті висновків автор зазначає перспективність використання побічної продукції кукурудзи як палива та рекомендує трьохпрохідну систему заготівлі побічної продукції кукурудзи у великих прямокутних тюках.

У четвертому пункті висновків автор приводить результати розрахунку зниження споживання первинної енергії викопного палива та скорочення викидів парникових газів при різних варіантах використання побічної продукції кукурудзи.

П'ятий пункт присвячено аналізу можливостей застосування електрогенеруючих потужностей на біомасі, біогазі і біометані для балансування енергетичної системи України.

Шостий, сьомий і восьмий пункти висновків узагальнюють результати досліджень технології спалювання відходів деревини та котлів з топковим пристроєм ретортного типу, котлів для спалювання соломи із регулюванням швидкості і кута нахилу сопел дуття а також результати експериментального дослідження оригінальної конструкції топкового пристрою для безперервного спалювання малих тюків соломи потужністю до 100 кВт.

Дев'ятий пункт висновків узагальнює результати досліджень технології метанової ферментації біомаси с-г культур.

Десятий пункт висновків узагальнює методичні засади фінансового аналізу інвестиційних біоенергетичних проектів та результати розрахунку ТЕО чотирьох технологій збору побічної продукції кукурудзи, виробництва брикетів та гранул із них, анаеробного зброджування побічної продукції АПК та ТЕО виробництва і використання біометану.

Одинадцятий пункт висновків констатує впровадження результатів дисертаційних досліджень у державних органах, на підприємствах країни та у навчальному процесі вищих навчальних закладів.

Усі пункти висновків впливають із результатів досліджень, проведених автором у дисертаційній роботі.

Наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані в результаті досліджень, є достовірними. Це досягалося коректним застосуванням положень технічної теплофізики, статистичної математики, біотехнології. Експериментальні дослідження проводились на засадах системного підходу, статистичного опрацювання інформації. Тому висновки у дисертації потрібно визнати достовірними, оскільки вони ґрунтуються на використанні апробованих методів із застосуванням сучасних приладів та обладнання.

Однак у висновках було б доцільно більш повно відобразити пункти наукової новизни дисертаційної роботи і відійти від перерахування змісту виконаної роботи (наприклад: розроблено дорожню карту..., виконано

аналіз..., вдосконалено технологію..., розроблено, виготовлено та експериментально досліджено..., виконано ТЕО...).

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що автором визначено закономірності оцінки життєвого циклу, енергетичної ефективності та обсягів викидів парникових газів при використанні побічної продукції кукурудзи у вигляді тюків, гранул та брикетів для виробництва теплової енергії; закономірності, які пов'язують коефіцієнт перетворення невідновлюваної енергії та скорочення викидів парникових газів від відстані транспортування ПП кукурудзи у вигляді тюків, гранул та брикетів для виробництва теплової енергії; експериментальні закономірності зв'язків інтенсивності горіння та рівня емісії забруднюючих речовин при спалюванні відходів деревини в котлах з топковим пристроєм на основі глибокої реторти з колосниками допалювання від коефіцієнту надлишку повітря та вологості палива; закономірності зв'язків поточної теплової потужності та рівня емісії забруднюючих речовин при спалюванні тюків соломи в водогрійних котлах періодичної дії від способів подачі та швидкості повертання сопел вторинного дуття, а також від вологості соломи та закономірності, які пов'язують потенціал та швидкості виходу біогазу при розпаді пожнивних решток в періодичному мезофільному процесі анаеробного зброджування з видом пожнивних решток, способом їх попередньої обробки та початковою концентрацією органічної речовини в реакторі.

Зміст автореферату у повній мірі відображає результати дисертаційної роботи, висновки у дисертації та авторефераті ідентичні.

Апробація і повнота викладу результатів досліджень в опублікованих працях. Основні положення роботи апробовані та отримали позитивну оцінку на профільних наукових конференціях: щорічні Міжнародні конференції «Проблеми промислової теплотехніки» та «Проблеми теплофізики та теплоенергетики» 2003-2019 рр., Київ, Україна; щорічні Міжнародні конференції «Енергія з біомаси» 2004-2019 рр., Київ, Україна; XIV Європейська конференція «Біомаса для виробництва енергії, промисловості та захисту клімату», 17-21 жовтня, 2005 р, Париж, Франція; II Міжнародна конференція "Співробітництво для вирішення проблеми відходів", 9-10 лютого 2005 р., Харків, Україна; 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition Bioenergy 2007, 3-7 September 2007, Jyvaskyla, Finland; 15th European Biomass Conference and Exhibition From Research to Market Deployment, 7-11 May 2007, Berlin, Germany; International Conference "Progress in Biogas – Biogas production from agricultural biomass and organic residues", 18-21 September 2007, Stuttgart, Germany; 16th European Biomass Conference and Exhibition From Research to Industry and Markets, 2-6 June 2008, Valencia, Spain; 17th European Biomass Conference & Exhibition "From Research to Industry and Markets", 29 June-03 July 2009 Hamburg, Germany; 18th European Biomass Conference and Exhibition, 3-7 May 2010, Lyon, France; Наукова конференція «Біологічні ресурси і новітні біотехнології виробництва біопалив» 9-11 вересня 2014 р., Київ, Україна; 4th Bioenergy Week 21-24 June 2016, Budapest, Hungary, Український форум з альтернативної енергетики, 3

листопада 2016 року, Київ, Україна; Другий Німецько-Український ВЕА форум. Біоенергетика, енергоефективність, агробізнес. 7 листопада 2016 р., Харків, Україна; Конференція Hard Talk «Нові можливості для розвитку сталої енергетики в Україні», 15 - 16 грудня 2016 року, Київ, Україна; 5th Central European Biomass Conference, 18 - 20 January 2017, Graz, Austria; IV Харківський міжнародний бізнес-форум. 21.06.2017 р., м. Харків, Україна; Kyiv Smart City Forum 2017, 3 листопада 2017 р. Київ, Україна; 2017 AEBIOM Conference, 21-22 листопада 2017, Брюссель, Бельгія; Ukraine Renewable Energy & Power Infrastructure Investors Conference, 28 березня 2018, Київ, Україна; «EU4Energy Vienna Policy Forum: Bioenergy for Heat», 24 April 2018, Vienna, Austria; Конференція «Агроенергетика 2018», 14 червня 2018, Київ, Україна; Конференція «AgroPower: Біогаз», 21 червня 2018, Київ, Україна; Sustainable Energy Forum SEFF-2018, 16 жовтня 2018, Київ, Україна; «Sweden Ukraine Bioenergy Cooperation Forum 2018», 23 жовтня 2018, Стокгольм, Швеція; «Ukrainian Renewable Energy Forum'18» 19-21 листопада 2018, Київ, Україна; «AgTech and Green Energy Forum», 10-11 December 2018, Baku, Azerbaijan; 2nd Renewable Energy & Power Infrastructure Investors Conference RENPOWER Ukraine 2019, 31 січня 2019, Київ, Україна; Конференція AgroPower.БІОГАЗ, 7 лютого 2019 р., Київ, Україна; «Reducing Open Agricultural Burning in Ukraine: Soil, Air Quality, and Public Health Paths for European Integration», 7 березня 2019 р., Київ, Україна; Конференція «Покращення ефективності систем централізованого тепlopостачання в Центральній та Східній Європі», 23 - 25 квітня 2019 року, м. Київ, Україна; Sustainable Energy Forum SEF 2019, 16 October 2019, Kyiv, Ukraine; X Міжнародний інвестиційний форум з відновлюваної енергетики, 28 листопада, 2019, Київ, Україна.

Основний зміст дисертації достатньо повно висвітлений у 90 наукових працях, серед яких: 5 монографій, 1 з яких видана за кордоном, 2 колективні монографії, 6 посібників, 56 статей в фахових періодичних виданнях, зокрема 8 публікації в іноземних виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази Scopus, 9 публікацій в збірниках матеріалів міжнародних конференцій, 1 патент України. Опубліковані наукові праці в достатній мірі розкривають теоретичні та експериментальні дослідження дисертаційної роботи.

Важливість отриманих автором результатів для науки й народного господарства, а також рекомендації щодо їх використання. На основі результатів виконаних досліджень оцінено енергетичний потенціал біомаси в Україні в 2018 та в 2050 рр. та енергетичний потенціал біомаси ряду областей в 2014-2016 рр., розроблено дорожню карту розвитку біоенергетики України до 2050 р., яка може бути використана при розробці Національного плану дій з відновлюваної енергетики до 2030 року і оновленні Енергетичної стратегії України, визначено можливості збирання і енергетичного використання поживних решток кукурудзи, які базуються на аналізі чотирьох технологій заготівлі: у великих прямокутних тюках, рулонах, подрібненому вигляді із

використанням кормозбирального комбайна і причепа-підбирача, та виборі технічних засобів для виконання повного переліку технологічних операцій, беручи до уваги наявне на ринку обладнання та результати випробувань у США та ЄС, визначено можливості застосування електрогенеруючих потужностей на біомасі, біогазі і біометані для балансування енергетичної системи України, які включають аналіз технічних особливостей дооснащення ТЕЦ на біомасі та БГУ для балансування енергетичної системи в години пікового споживання, розроблено, виготовлено та досліджено експериментальний котел ретортного типу потужністю 100 кВт для спалювання деревного палива вологістю до 50%, розроблено, виготовлено та досліджено дослідно-промислові зразки соломоспалювальних котлів потужністю 100, 250 та 350 кВт, в яких забезпечено стабільні показники поточної теплової потужності котла та зменшення емісії CO, отримала подальший розвиток технологія спалювання малих тюків соломи в водогрійних котлах ретортно-сигарного типу, в яких організовано безперервне стабільне спалювання малих тюків соломи та забезпечено помірні викиди шкідливих речовин, отримано дані щодо показників виходу біогазу при анаеробному зброджуванні пожнивних решток АПК, які є науковим підґрунтям для подальшого розвитку технологій виробництва біогазу з лігноцелюлозної агросировини, виконано ТЕО ряду біоенергетичних технологій : заготівлі побічної продукції кукурудзи; виробництва гранул і брикетів із неї, анаеробного зброджування побічної продукції АПК, виробництва і використання біометану, внесено пропозиції до наступних законів України, що введені в дію: Закон України № 514-VIII від 04.06.2015, «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії»; Закон України № 1959-VIII від 21.03.2017 р «Про внесення змін до Закону України "Про тепlopостачання" щодо стимулювання виробництва теплової енергії з альтернативних джерел енергії»; Закон України № 2712-VIII від 25.04.2019 «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії». Розроблено проекти законів України щодо впровадження системи електронної торгівлі біопаливом; створення конкурентного ринку теплової енергії в системах централізованого тепlopостачання; запровадження підтримки вирощування енергетичних культур; відміни податку на викиди CO₂ для біоенергетичних установок; підтримки виробництва та споживання біометану.

Результати досліджень впроваджено на підприємствах країни та у навчальному процесі вищих навчальних закладів, зокрема: технологію спалювання відходів деревини в котлах з топковим пристроєм ретортного типу впроваджено на котлобудівельному заводі ТОВ «Волинь-Кальвіс»; технології спалювання соломи в водогрійних котлах періодичної дії та спалювання малих тюків соломи в водогрійних котлах ретортно-сигарного типу впроваджено у ТОВ «Котлозавод «Крігер»; результати експериментальних досліджень анаеробного зброджування аграрних відходів

і залишків (солома, стебла кукурудзи, лушпиння соняшника) впроваджено у ПрАТ «МХП Еко Енерджи»; методика оцінки енергетичного потенціалу біомаси України та ТЕО заготівлі побічної продукції кукурудзи, виробництва гранул і брикетів з побічної продукції кукурудзи, анаеробного зброджування аграрних відходів і залишків, виробництва і використання біометану впроваджено у навчальному процесі кафедри економічної теорії факультету аграрного менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Загальна оцінка змісту дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний зміст роботи викладено на 332 сторінках тексту, проілюстровано 158 рисунками та 69 таблицями. Список використаних джерел містить 257 найменувань.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання досліджень, окреслено проблематику та здобуток провідних вчених, показано зв'язок роботи з науковими програмами та темами, сформульовано мету та завдання дослідження, відмічено наукову новизну та практичну цінність отриманих у роботі результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, апробацію результатів роботи, обсяг і структуру дисертації.

У *першому розділі* окреслено світовий та європейський досвід розвитку біоенергетики та використання біологічних видів палива. Детально проаналізовано місце біомаси в паливно-енергетичному комплексі України та вказано на перспективи зростання сектору з огляду на наявність ресурсів. Проаналізовано та систематизовано технології енергетичного використання біомаси, а саме: спалювання, анаеробного зброджування, збагачення біогазу до стану біометану. Сформульовано науково-технічну проблему, яка полягає у відсутності інформації про реальний енергетичний потенціал біомаси в Україні, у недостатності дослідження процесів заготівлі біомаси, її перетворення у тверде біопаливо, спалювання та анаеробного зброджування біомаси та їх екологічного впливу на довкілля, у наявності ряду законодавчих перешкод для успішного впровадження біоенергетичних технологій в Україні.

У *другому розділі* виконано опис підходів, які застосовувались при розробці методики комплексної оцінки енергетичного потенціалу різних видів біомаси, доступних для використання в енергетичних цілях в умовах України. Сформульовано поняття теоретичного, технічного та економічного потенціалу біомаси, наведено перелік складових, які враховуються при оцінці енергетичного потенціалу аграрних залишків енергетичних культур, а саме кукурудзи для виробництва біогазу, деревної біомаси, рідких біопалив, біогазу в АПК, біогазу з стічних вод та ТПВ. Наведено результати оцінки потенціалу різних видів біомаси із застосуванням розробленої методики. Представлено обґрунтування факторів росту енергетичного потенціалу біомаси в Україні у 2050 році та як наслідок розроблено дорожню карту розвитку біоенергетики в Україні до 2050 року.

У *третьому розділі* обґрунтовано процеси збирання та енергетичного використання побічної продукції виробництва кукурудзи на зерно. Окреслено сучасний стан збору та використання побічної продукції кукурудзи на зерно в світі та Україні, надано її енергетичний потенціал у розрізі областей України та проаналізовано паливні характеристики. Розроблено різні технологічні схеми збору побічної продукції кукурудзи на зерно та з використанням техніко-економічних показників обґрунтовано використання трьохпрохідної системи заготівлі у великих прямокутних тюках. Виконано енергетичний та екологічний аналіз використання побічної продукції кукурудзи на зерно у вигляді великих тюків, гранул та брикетів для виробництва теплової енергії. Проведено інвентаризацію та математичний опис життєвого циклу використання пожнивних решток в якості палива та виконано порівняння отриманих показників енергетичної та екологічної ефективності з критеріями сталого розвитку. Наведено графічні залежності енергетичних показників від відстані перевезення тюків, гранул та брикетів з пожнивних решток кукурудзи. Проведено аналіз можливостей застосування електрогенеруючих потужностей на біомасі, біогазі і біометані для балансування енергетичної системи України. Розглянуто можливості балансування за допомогою ТЕЦ/ТЕС на біомасі, біогазових установок газгольдерного типу та закачуванням та наступним споживанням біометану з мережі природного газу.

Четвертий розділ присвячено дослідженню технологій та проведенню експериментальних досліджень прямого спалювання та анаеробного зброджування біологічних видів палива. Крім того, обґрунтовано необхідність визначення розрахункових характеристик ретортних топків при роботі на різних видах деревного палива, що розрізняються вологістю і фракційним складом. Приведено результати розроблення та експериментального дослідження різних технологій використання біологічних видів палива, дослідження аеродинамічних умов горіння тюка соломи у набігаючому струмені повітря. Розроблено методику теплотехнічних випробувань, адаптовану до котлів, із застосуванням якої досліджено теплопродуктивність, експлуатаційні показники та емісійні характеристики теплогенератора при періодичному спалюванні тюків соломи. Описано експериментальний стенд, методику експериментальних досліджень та проведено результати дослідження роботи топкового пристрою лоткового типу для безперервного спалювання малих тюків соломи. Досліджено ефективність анаеробного зброджування пожнивних решток пшениці, кукурудзи та соняшнику з метою отримання біогазу.

У *п'ятому розділі* представлено результати виконання техніко-економічного обґрунтування впровадження різних технологій отримання енергії із біологічних видів палива, а саме: заготівлі великих прямокутних тюків з пожнивних решток кукурудзи, виробництва гранул та брикетів з ПП кукурудзи, анаеробного зброджування пожнивних решток агропромислового комплексу, виробництва та використання біометану.

Матеріали дисертації достатньо проілюстровані схемами, рисунками,

графіками і таблицями. Загальні висновки і рекомендації у дисертації впливають з проведених здобувачем досліджень та відображають основні результати роботи. Текст дисертаційної роботи викладений чітко та в логічній послідовності. Мова і стиль викладення змісту, оформлення дисертації та автореферату відповідають вимогам, що представляються до докторських робіт.

У цілому дисертаційна робота відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.14.08 – перетворення відновлюваних видів енергії і містить наукові результати досліджень, що направлені на науково-технічне обґрунтування виробництва енергії з біологічних видів палива.

Зауваження по роботі. До дисертаційної роботи та автореферату є наступні зауваження:

1. Назва дисертації відповідає предмету досліджень, але доцільно було б використати слово «обґрунтування» замість слова «засади».

2. При аналізі доступних обсягів рослинної біомаси для енергетичного використання необхідно було б у більшій мірі приділити увагу впливу дефіциту гумусу на ці обсяги, адже рослинна біомаса, що залишається на полях або вноситься із гноєм є єдиним джерелом надходження гумусу в ґрунти. Але обсяги рослинної біомаси для енергетичного використання автором враховані в роботі достатньо обґрунтовані.

3. Автор дисертації надає перевагу використанню рослинної біомаси кукурудзи для енергетичних цілей, не враховуючи при цьому цінність такої біомаси поряд із біомасою соняшника для ґрунтової мікрофлори, на відміну від соломи, технології збирання і використання якої достатньо обґрунтовані.

4. Із тексту дисертації незрозуміло, чому лише 40% соломи ріпаку необхідно використовувати на енергетичні цілі, адже інші напрямки її використання важко запропонувати.

5. Автор достатньо аргументовано визначає стратегічні цілі використання аграрної рослинної біомаси, але точну річну оцінку потенціалу аграрної біомаси можна надати лише по завершенню сезону збирання зернових та інших культур.

6. Автор у своїй роботі, як і більшість науковців, використовує термін «питомий вихід CH_4 на 1 г СОР», що може використовуватися для характеристики обсягів біомаси в реакторі і є некоректним для характеристики виходу біогазу, оскільки при цьому не приводиться рівень розкладу СОР в реакторі за заданий час зброджування.

7. У дисертації та авторефераті приведено цікаву залежність емісії СО при спалюванні тюків вологої та сухої соломи, однак сутність явища не розкрита в тексті.

8. Автор інколи (табл. 4.1) використовує застарілі одиниці вимірювання тепла, а саме «ккал», а також не завжди вказує на рівень новизни формул приведених в дисертації та авторефераті. Так, наприклад, формула (4.2) представлена як «відомий вираз», формула (4.17) – як «відома залежність», у той же час інші формули можуть бути ідентифіковані, як вперше отримані автором.

9. Автор при виконанні ТЕО аналізує структуру витрат і включає до них амортизацію. І хоча це не змінює суть розрахунків, амортизацію необхідно приводити окремо від витрат, оскільки вона не входить до структури витрат, а вираховується із прибутку.

10. Щодо термінології: автор використовує різні назви для сировини, а саме «рослинні рештки», «побічна продукція» замість використання наукового терміну «рослинна біомаса» або конкретної назви, наприклад «солома», «бадилля», «стебла» і т. д.; на сучасному етапі доцільно використовувати термін «аграрна біомаса» замість «сільськогосподарська біомаса»; описуючи процеси в біогазовому реакторі автор використовує відомий термін «метанова ферментація» та термін «темна ферментація». Зовсім незрозуміло, що мається на увазі під «темною ферментацією», адже ніякого освітлення в реакторі не має.

11. Наявні випадки розміщення рисунків по тексту перед посиланням на них у тексті дисертації. Хоча це пов'язано із стилем автора розміщувати рисунки горизонтально по ширині сторінки.

Висновок

Незважаючи на наведені зауваження вважаю, що вони не знижують моєї загальної позитивної оцінки представленої дисертаційної роботи, оскільки дисертаційна робота є завершеною науковою працею, у якій отримано вищезазначені обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують важливу науково-прикладну проблему підвищення ефективності виробництва енергії з біологічних видів палива. Автореферат дисертації та опубліковані праці автора ідентичні за змістом основним положенням дисертації та в достатній мірі опубліковані у фахових наукових виданнях України, виданнях, що індексуються у міжнародній наукометричній базі Scopus та інших виданнях. У цілому дисертаційна робота *Гелетухи Георгія Георгійовича* на тему "*Науково-технічні засади виробництва енергії з біологічних видів палива*" відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12 та 13 "Порядку присудження наукових ступенів" затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р., а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії.

**Офіційний опонент, професор
кафедри тракторів, автомобілів та
біоенергосистем Національного університету
біоресурсів і природокористування України,
доктор технічних наук, професор**

Голуб Г.А.

