

## ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ ЯК ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

*В роботі відзначено, що використання альтернативних видів палив для виробництва теплової та електричної енергії за умов дефіциту енергоносіїв є актуальним завданням сьогодення. В роботі вказано, що спалювання газу, отриманого з низькосортного твердого палива має ряд переваг. Разом з тим відзначено, що при газифікації деревини, сільськогосподарських культур, торфу, бурого вугілля, а також деяких видів кам'яного вугілля виділяється значна кількість смолистих речовин, що конденсуються при охолодженні газу. Проведено аналіз літературної інформації по способах газифікації альтернативних видів палив, по вимогах до вмісту смол в генераторному газі, а також по властивостях смол. Показано, що серед відомих методів газифікації, найбільш ефективним з точки зору отримання безсмольного газу є ступінчаста газифікація. Систематизовано інформацію по вмісту смол в генераторному газі при газифікації різних видів палив. Відзначено, що забрудненість генераторного газу смолами призводить до необхідності використовувати дорогі системи газоочистки і змушує шукати нові способи управління процесом газифікації. Показано, що більшість з найбільш поширених технологій газифікації біомаси не задовольняє вимогам виробників ДВЗ по вмісту смол в генераторному газі (5 – 100 мг/м<sup>3</sup>). Тому найбільш доцільним способом отримання генераторного газу для спалювання його в ДВЗ є ступінчаста газифікація. Проаналізовано склад смоли і показано, що серед п'яти класів смол найбільш поширеними під час газифікації деревини є класи 2 і 4, температура точки роси смоли для них становить від 40 до 135 °С в діапазоні концентрації смоли в газі від 5 мг/м<sup>3</sup> до 10 г/м<sup>3</sup>. Відзначено, що інформації по допустимому вмісту смол в димових газах, за якого виключатиметься їх конденсація, при прямому спалюванні деревини та інших альтернативних видах палива у відкритому доступі немає.*

*Ключові слова: газифікація, паливо, смола, температура точки роси смоли, деревина, торф, відходи сільськогосподарських культур.*

### Вступ

Використання альтернативних видів палив (відходів деревини, сільськогосподарських культур (кукурудзи, соняшнику, соломи зернових культур тощо), зокрема низькосортних (торфу, бурого вугілля, тощо), для виробництва теплової та електричної енергії за умов дефіциту енергоносіїв є актуальним завданням сьогодення.

Аналіз існуючих методів використання деревного палива показав, що найбільш переважаючими є методи термічної переробки: спалювання, піроліз та газифікація. При цьому техніко – економічні показники спалювання палива в топках вище в порівнянні з такими ж показниками газифікації і піролізу. Однак досить часто може виникати необхідність вирішення локальних енергетичних проблем з використанням газогенераторів для отримання газу як палива, наприклад в двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ), а також синтез – газу з подальшим його збагаченням воднем. При наявності відходів деревообробки за рахунок виробничої діяльності підприємства застосування газогенераторної установки стає рентабельним [1]. Слід зазначити, що при спалюванні низькосортного палива, особливо з великим вмістом вологи, неможливо отримати великі температури, тоді як при спалюванні газу, отриманого із цього ж палива, такі температури досяжні. Це пояснюється тим, що із газу легко видалити вологу, що є баластом, і газ можна підігріти перед спалюванням. Крім того, при спалюванні газу необхідно менше надлишкового повітря, ніж для шматкового палива, завдяки чому збільшується температура горіння і зменшуються втрати теплоти з відхідними газами. При спалюванні газу легко можна регулювати характер полум'я і витрату газу [2]. Тобто переваг використання для виробництва теплової та електричної енергії генераторного газу, порівняно з твердим низькосортним паливом, багато.

Під час газифікації дров, торфу, бурого вугілля, відходів сільськогосподарських культур, а також деяких видів кам'яного вугілля, виділяється значна кількість смолистих речовин, що конденсуються при охолодженні газу. Це ускладнює використання генераторного газу в якості джерела енергії. Якщо відсутні спеціальні пристосування для вловлювання смол, то в міру проходження газу по довгих газопроводах і охолодження його смоли осідають, засмічуючи газопроводи (рис.1), клапани та пальники [2, 3].



Рисунок 1 – Забруднення обладнання смолою [3]

Перед спалюванням генераторного газу в двигунах внутрішнього згорання, камерах згорання газотурбінних установок та в котлах, газ потрібно очистити від смол. За умов малої потужності установки, наявність очисного обладнання підвищує капіталовкладення в проект та збільшує експлуатаційні витрати. Тому найбільш доцільно встановлювати газогенератори, що виробляють газ з незначним вмістом смол. Слід зазначити, що в науковій літературі та інформації розміщеній на інтернет - ресурсах обмежена кількість даних по вмісту смол при газифікації різних видів альтернативних видів палив в залежності від типу газифікатора. Проведення широких експериментальних досліджень в даному напрямку та систематизація існуючої інформації є важливою науково-практичною задачею. Отримання газу з низьким вмістом смол в процесах газифікації є надзвичайно актуальною проблемою.

**Мета роботи** – аналіз проблем використання генераторного газу як джерела енергії.

## Основна частина

### Способи газифікації палива.

Багато відомих процесів газифікації біомаси мають загальний недолік - високу забрудненість генераторного газу смолистими речовинами. В роботі [4] наведено інформацію по вмісту смол в генераторному газі, отриманому в газогенераторі з дуттям донизу. Таким чином, при газифікації соломи люцерни (вологість 7,9%) вміст смол в газі  $2,33 \text{ г/м}^3$ , ячмінної соломи – смол немає, качанів кукурудзи (вологість 11%) –  $7,24 \text{ г/м}^3$ , торфу(вологість 13%) – смол немає, лущиння горіхів –  $6,24 \text{ г/м}^3$ , солома пшениці (вологість 9,6 %) – смол немає, брикети деревини (вологість 5,4%) –  $3,24 \text{ г/м}^3$ , щепи деревини (вологість 10,8%) –  $6,24 \text{ г/м}^3$ . Таким чином, можна зробити висновок, що при зазначеному типі газифікації, в синтез-газі міститься велика кількість смол. Тому перед спалюванням такого газу в двигуні внутрішнього згорання необхідно ретельно його очищати.

Вельми поширена конструкція газогенератора з оберненим рухом газу - зверху вниз. Повітря підводиться зверху і рухається в тому ж напрямку, що і паливо. Гази відводяться знизу. Смолисті речовини розкладаються в зоні високих температур, і в газопровід надходить безсмольний газ [5].

Недоліками цієї конструкції є поганий випал залишків і висока температура газу. Поганий випал пов'язаний з тим, що в нижній частині газогенератора, де має відбуватися вигорання вуглецю із залишків палива, газ не містить вільного кисню, що найбільш інтенсивно взаємодіє з вуглецем.

Іншою конструкцією, що застосовується лише в досить великих установках, є двозонний газогенератор, в якому повітря подається зверху і знизу, а газ відводиться з середньої частини газогенератора. Смолисті речовини, що виділилися в верхній частині газогенератора, проходять розпечений шар в присутності кисню і розкладаються, а завдяки вдуванню повітря знизу відбувається допалювання залишків вуглецю [6, 7, 8].

Газогенератори з оберненим рухом газу і двозонні в основному застосовуються для отримання газу для двигунів. Зразковий склад такого газу (силового газу з торфу) такий:  $\text{CO}_2$  – 12 %;  $\text{C}_2\text{H}_4$  – 0,1 %;  $\text{CO}$  – 16%;  $\text{CH}_4$  – 2,2%;  $\text{H}_2$  – 17%;  $\text{N}_2$  – 52,7%; теплота згорання – 1123 ккал /  $\text{m}^3$ .

Забрудненість генераторного газу смолами призводить до необхідності використовувати дорогі системи газоочистки і змушує шукати нові способи управління процесом газифікації. Одним з таких способів є ступінчаста газифікація, при реалізації якої стадії піролізу і газифікації відділені одна від одної [8, 9]. Дослідження таких методів газифікації проведені в роботах [8, 9].

В роботі [8] зазначається, що при використанні ступінчастого реактора, при газифікації лушпиння горіхів вміст смол в газі становить  $6,5 \text{ мг/м}^3$ , а при газифікації лушпиння соняшника  $7,1 \text{ мг/м}^3$ . При такому вмісті смол не потрібне додаткове очищення генераторного газу. Такі типи газифікаторів є перспективними при роботі їх з двигунами внутрішнього згорання.

У схемі запропонованій в роботі [9] газогенератор розділений на два пов'язаних реактора, в одному з яких (реактор піролізу) завантажується вхідне паливо (рис. 2).

На цій стадії паливо висушується і виділяє леткі речовини. Газоподібні продукти піролізу направляються потім в секцію для спалювання, де при високій температурі досягається глибоке очищення від смол (термічне крекінгування). Гарячі газу (продукти окислення пірогазу) є дуттевим агентом для другої стадії. При досягненні достатнього ступеня конверсії деревний недопалок сорбує недогорілі залишки смол, тому отриманий газ містить лише їх сліди. Використання тепла, що виділилося при згоранні пірогазу, в ендотермічних процесах відновлення  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  недопалом дозволяє зменшити термодинамічні втрати.

#### Вимоги до вмісту смол в газах.

Залежно від способу використання генераторного газу до нього пред'являються різні вимоги по рівню вмісту твердих частинок, смол, хлору, лужних металів.

Для газу, що використовується в ДВЗ і турбінах, ці вимоги до цього часу точно не встановлені. Виробники вказують різні вимоги, які прийнятні для їх двигунів і турбін. Вони пов'язані з необхідністю запобігання засмічення газових трактів і трубопроводів, а також ерозії, корозії і зносу елементів двигунів. Інформація по допустимій кількості смол в генераторному газі, що спалюється в ДВЗ в літературних джерелах наводиться різна, від 5 до  $100 \text{ мг/м}^3$  [8, 10].

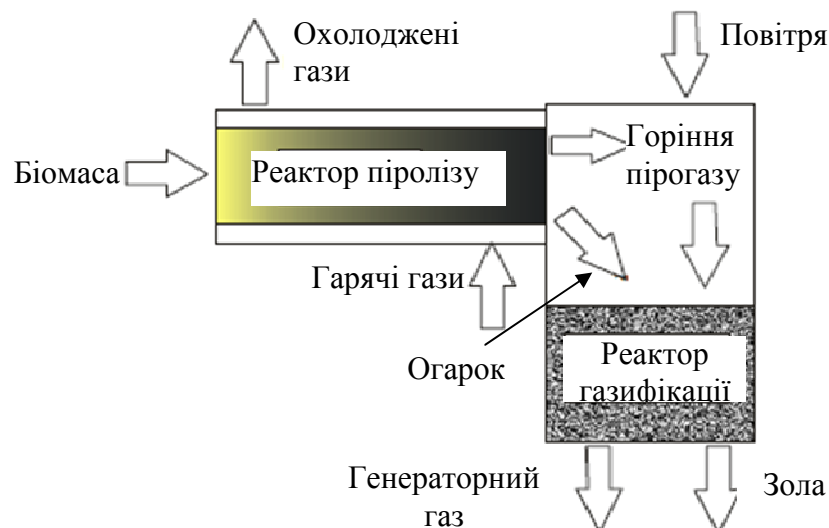


Рисунок 2 – Схема процесу ступінчастої газифікації біомаси [9]

При спалюванні генераторного газу в котлах до вмісту смол в газі жорсткі вимоги зазвичай не пред'являються. Однак котел повинен розташовуватися безпосередньо біля газифікаційної установки, інакше можуть виникнути проблеми, пов'язані з конденсацією смол і засміченням трубопроводів. Для запобігання цього в обладнанні газифікаційної установки повинна бути передбачена система очищення генераторного газу від смол. Якщо газ спалюється в котлі [10], то допустима концентрація твердих частинок в ньому становить  $70\text{--}1500 \text{ мг/м}^3$  в залежності від розмірів і місця розташування котельного обладнання. При використанні в ДВЗ генераторний газ

повинен містити твердих частинок не більше 10 – 50 мг/м<sup>3</sup>, в ГТУ – від 2 до 20 мг/м<sup>3</sup> в залежності від швидкості обертання турбіни і робочої температури.

Слід також відзначити, що інформації по допустимому вмісті смол в димових газах при прямому спалюванні деревини та інших альтернативних видах палива у відкритому доступі немає.

### Властивості смол.

Оскільки смоли, що містяться в генераторному газі, можуть конденсуватись в елементах теплотехнологічного обладнання (теплообмінниках для охолодження генераторного газу), газоходах, газопроводах, тощо, то потрібна інформація по властивостях смол.

В роботі [11], опублікованій компанією ECN, яка займається вивченням властивостей смол, їх конденсацією та очищенням від них димових газів, розміщена система класифікації смол. Вони за своїми фізичними властивостями поділяються на п'ять класів. Температура точки роси смоли залежить від класу смоли і її концентрації в продуктах згорання (рис. 3). На рисунку 3 наведено інформацію по температурі точки роси для класів смол 2-5. Клас смол 1 маловивчений.

Смола деревини являє собою складну суміш органічних речовин [12]: фенолів (10–25 %); кислот (10–30%); нейтральних речовин (40–55%). В склад фенолів входять фенол, крезоли, ксиленоли, о-етилфенол, псевдокуменоли, пірокатехін, гваякол, метилові ефіри пірогаллола та ін. Із кислот присутні представники жирного ряду від мурашиної до каприлової, бегенова та ін. В склад нейтральних сполучень входять кетони, альдегіди, спирти, вуглеводневі різних класів та ін [12].

Серед п'яти класів смол нами виділені такі, які найбільше відповідають властивостям смоли деревини. Такими класами згідно класифікації ECN [11] є клас 2 і 4, температура точки роси смоли для них становить від 40 до 135 °С в діапазоні концентрації смоли в газі від 5 мг/м<sup>3</sup> до 10000 мг/м<sup>3</sup>. Клас 2 – гетероциклічні компоненти (фенол, пуріден, крезол). Клас 4 – легкі поліароматичні вуглеводневі (2–3 rings PAH's поліароматичні вуглеводневі).

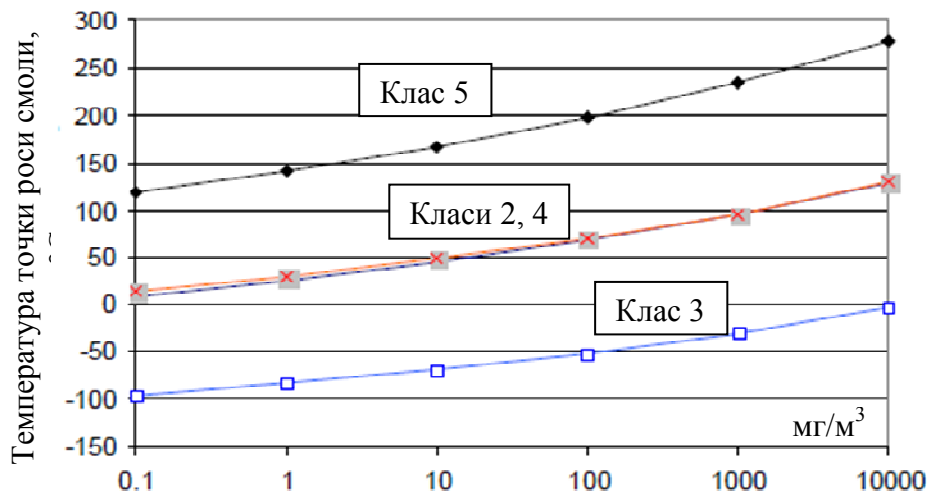


Рисунок 3 – Температура точки роси смоли при атмосферному тиску залежно від концентрації смол для різних класів

Ці компоненти конденсуються при відносно високих концентраціях і середніх температурах. Компоненти смоли – нафталін, метил-нафталін, біфенол та ін. Для згаданих класів температура точки роси смоли однакова. Клас 5 – це важкі смоли, компоненти яких конденсуються при високих температурах (120...280 °С). Для класу 1 на сайті ECN інформації по температурі точки роси немає.

### Висновки

В роботі проведено систематизацію літературної інформації по проблемах отримання безсмольного газу в процесах газифікації. Проаналізовано інформацію по способах газифікації та вмісту смол в отриманому генераторному газі. Показано, що більшість з найбільш поширених технологій газифікації біомаси не задовольняє вимогам виробників ДВЗ по вмісту смол в

генераторному газі. Тому найбільш доцільним способом отримання генераторного газу для спалювання його в ДВЗ є ступінчаста газифікація. Проаналізовано склад смоли і показано, що серед п'яти класів смол найбільш поширеними при газифікації деревини є класи 2 і 4. Відзначено, що інформації по допустимому вмісті смол в димових газах, за якого виключатиметься їх конденсація, при прямому спалюванні деревини та інших альтернативних видах палива у відкритому доступі немає.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соловьев В. Н. Обработка элементов технологии газификации местных видов топлива и органических отходов в обращенном режиме / В. Н. Соловьев, Л. А. Бидя, Г. И. Фокина и др. – Минск, 2003. – 37 с. – (Препринт/НАН Беларуси. Объед. ин-т энергетич. и ядер. исслед. – Сосны; ОИЭЯИ – 9.
2. Гинзбург Д. Б. Газификация низкосортного топлива / Д. Б. Гинзбург. – М. : Промстройиздат, 1950. – 171 с.
3. "Thersites": website for tar dew point calculations [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.thersites.nl>.
4. Anil K. Rajvanshi. Biomass gasification. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://nariphaltan.org/nari/pdf\\_files/gasbook.pdf](https://nariphaltan.org/nari/pdf_files/gasbook.pdf).
5. Юдушкин Н. Г. Газогенераторные тракторы. Теория, конструкция и расчет / Н. Г. Юдушкин. – М. : Государственное научно-техническое издание машиностроительной литературы, 1955. – 242 с.
6. Han J. The reduction and control technology of tar during biomass gasification/pyrolysis: An overview / Han J. , Klin H. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. – V. 12. – P. 397 – 416.
7. The design, construction and operation of a 75 kW two-staged gasifier / U. Henriksen, J. Ahrenfeldt, T.K. Jensen, B. Gobel, J.D. Bentzen, C. Hindsgaul. L.H. Sorensen // Energy. 2006. – V. 31. – P. 1542-1553.
8. Кремнева Е. В. Разработка энергосберегающей технологии двухстадийной газификации биомассы для когенерационных установок / Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №8 – С. 40 – 47.
9. Донской И. Г. Расчетное исследование режимов работы двухступенчатого слоевого газогенератора для переработки древесных отходов / И. Г. Донской, А. В. Кейко // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docplayer.ru/51423892-Raschetnoe-issledovanie-rezhimov-raboty-dvuhstupenchatogo-sloevogo-gazogeneratora-dlya-pererabotki-drevesnyh-otvodov.html>.
10. Гелетука Г. Г. Обзор технологий генерирования электроэнергии, полученной из биомассы при ее газификации / Г. Г. Гелетука, Т. А. Железная // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 3. – С. 3 – 11.
11. Tar formation in fluidised-bed gasifier / Report ECN. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ecn.nl/docs/library/report/2004/c04013.pdf?q=tar>.
12. Козлов В. Н. Технология пирогенетической переработки древесины / В. Н. Козлов, А. А. Нимвицкий. – М.—Л., 1954. – 312 с.

## REFERENCES

1. Solov'yev V. N. Obrabotka elementov tekhnologii gazifikatsii mestnykh vidov topliva i organicheskikh otkhodov v obrashchennom rezhime / V. N. Solov'yev, L. A. Bida, G. I. Fokina i dr. - Minsk, 2003. - 37 s. - (Preprint / NAN Belarusi. Ob'yed. In-t energetich. I yader. Issled. - Sosny; OIEYAY - 9.
2. Ginzburg D. B. Gazifikatsiya nizkosortnogo topliva / D.B. Ginzburg. -M. : Promstroyizdat, 1950. - 171 s.
3. "Thersites": website for tar dew point calculations [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.thersites.nl>.
4. Anil K. Rajvanshi. Biomass gasification. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: [https://nariphaltan.org/nari/pdf\\_files/gasbook.pdf](https://nariphaltan.org/nari/pdf_files/gasbook.pdf).
5. Yudushkin N. G. gazogeneratory traktory. Teoriya, konstruktsiya i raschet / N. G. Yudushkin. - M.: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdaniye mashinostroitel'noy literatury, 1955. - 242 s.
6. Han J. The reduction and control technology of tar during biomass gasification / pyrolysis: An overview / Han J., Klin H. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. - V. 12. - P. 397 - 416.
7. The design, construction and operation of a 75 kW two-staged gasifier / U. Henriksen, J. Ahrenfeldt, T.K. Jensen, B. Gobel, J.D. Bentzen, C. Hindsgaul. L.H. So-rensen // Energy. 2006. - V. 31. - P. 1542-1553.
8. Kremneva Ye. V. Razrabotka energosberegayushchey tekhnologii dvukhstadiynoy gazifikatsii biomassy dlya kogeneratsionnykh ustanovok / Vostochno-yeuropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy.- 2014 - №8 - S. 40 - 47.
9. Donskoy I. G. Raschetnoye issledovaniye rezhimov raboty dvukhstupenchatogo sloevy gazogeneratora dlya pererabotki drevesnykh otkhodov / I. G. Donskoy, A. V. Keyko // [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://docplayer.ru/51423892-Raschetnoe-issledovanie-rezhimov-raboty-dvuhstupenchatogo-sloevogo-gazogeneratora-dlya-pererabotki-drevesnyh-otvodov.html>.
10. Geletukha G. G. Obzor tekhnologiy generirovaniya elektroenergii, poluchennoy iz biomassy pri yeye gazifikatsiy / G. G. Geletukha, T. A. Zheleznaya // Energotekhnologii i resursosberezheniye. - 1998. - № 3. - S. 3 - 11.
11. Tar formation in fluidised-bed gasifier / Report ECN. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.ecn.nl/docs/library/report/2004/c04013.pdf?q=tar>
12. Kozlov V. N. Tekhnologiya pirogeneticheskoy pererabotki drevesiny / V. N. Kozlov, A. A. Nimvitskiy. - M.-L., 1954. - 312 s.

**Боднар Лілія Анатоліївна** – к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ. e-mail: bodnar06@ukr.net. ORCID: 0000-0001-9497-214X.

**Сологуб Тетяна Анатоліївна** – студентка, Вінницький національний технічний університет. e-mail: tasologub@gmail.com.

Л. А. Боднар  
Т. А. Сологуб

## ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА КАК ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

Винницкий национальный технический университет

*В работе отмечено, что использование альтернативных видов топлива для производства тепловой и электрической энергии в условиях дефицита энергоносителей является актуальной задачей сегодняшнего дня. В работе указано, что сжигание газа, полученного из низкосортного твердого топлива имеет ряд преимуществ. Вместе с тем отмечено, что при газификации древесины, сельскохозяйственных культур, торфа, бурого угля, а также некоторых видов каменного угля выделяется значительное количество смолистых веществ, конденсируются при охлаждении газа.*

*Проведен анализ литературной информации по способам газификации альтернативных видов топлива, по требованиям к содержанию смол в генераторном газе, а также по свойствам смол. Показано, что среди известных методов газификации, наиболее эффективным с точки зрения получения безсмольного газа является ступенчатая газификация. Систематизирована информация по содержанию смол в генераторном газе при газификации различных видов топлива. Отмечено, что загрязненность генераторного газа смолами приводит к необходимости использовать дорогие системы газоочистки и заставляет искать новые способы управления процессом газификации.*

*Показано, что большинство из наиболее распространенных технологий газификации биомассы не удовлетворяет требованиям производителей ДВС по содержанию смол в генераторном газе (5 - 100 мг/м<sup>3</sup>). Поэтому наиболее целесообразным способом получения генераторного газа для сжигания его в ДВС является ступенчатая газификация. Проанализирован состав смолы и показано, что среди пяти классов смол наиболее распространенными при газификации древесины есть классы 2 и 4, температура точки росы смолы для них составляет от 40 до 135 °С в диапазоне концентрации смолы в газе от 5 мг/м<sup>3</sup> до 10000 мг/м<sup>3</sup>.*

*Отмечено, что информации по допустимому содержанию смол в дымовых газах, при котором будет исключаться их конденсация, при прямом сжигании древесины и других альтернативных видах топлива в открытом доступе нет.*

*Ключевые слова: газификация, топливо, смола, температура точки росы смолы, древесина, торф, отходы сельскохозяйственных культур.*

L. Bodnar  
T. Sologub

## PROBLEMS OF THE USE OF GENERATOR GAS AS A SOURCE OF ENERGY

Vinnitsia National Technical University

*It was noted that the use of alternative fuels for the production of thermal and electric energy in the face of energy scarcity is an urgent task of the present. The paper states that combustion of gas from low-grade solid fuels has several advantages. At the same time, it is noted that during gasification of wood, agricultural crops, peat, brown coal, as well as some types of coal, a considerable amount of resinous substances, which condense during the cooling of gas, is released. The analysis of literary information on methods of gasification of alternative types of fuels, on requirements to the content of resins in the generator gas, as well as on the properties of resins. It is shown that among the known methods of gasification, the most effective in terms of obtaining a non-slag gas is the step-by-step gasification. The information on the content of resins in the generator gas during the gasification of various types of fuels is systematized. It is noted that the pollution of the generator gas resins leads to the need to use expensive gas cleaning systems and makes it necessary to look for new ways to control the gasification process. It is shown that most of the most common technologies of biomass gasification do not meet the requirements of Diesel engine manufacturers for the content of resins in generator gas (5 - 100 mg/m<sup>3</sup>). Therefore, the most expedient way to get the generator gas for combustion in the internal combustion engine is stepped gasification. The composition of the resin has been analyzed and it is shown that among the five classes of resins the most widespread during the gasification of wood are classes 2 and 4, the temperature of the dew point of resin for them ranges from 40 to 135 °C in the range of concentration of resin in gas from 5 mg/m<sup>3</sup> to 10 g/m<sup>3</sup>. It is noted that information on the admissible content of resins in flue gases, which will exclude their condensation, in the direct burning of wood and other alternative types of fuel in open access.*

*Keywords: gasification, fuel, resin, dew point temperature, wood, peat, agricultural waste.*

**Bodnar Lilia** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Vinnitsia National Technical University, e-mail: Bodnar06@ukr.net.

**Sologub T.** – Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnitsia National Technical University.