

Слободенюк Е.А. Утилизация растений, загрязненных дихлордифенилтрихлором

Исследовано влияние анаэробных условий на процесс разложения дихлордифенилтрихлора (ДДТ) в загрязненной растительной массе. Установлено, что период полуразложения данного ксенобиотика в компостной массе составит 3,4 дня, а внесение известняка (CaCO_3) в количестве 2 % от массы загрязненных растений ускоряет разложение ДДТ в 1,2 раза.

Ключевые слова: утилизация, ДДТ, пестициды, мелиорант, анаэробное разложение, компостирование, загрязненная фитомасса.

Slobodenyuk L.A. Utilization of plants contaminated with dichlorodiphenyltrichlore

The effect of anaerobic conditions influence on the process of dichlorodiphenyltrichlore (DDT) degradation in a contaminated biomass was studied. Found that the half-life of xenobiotic's degradation in the compost mass consists 3,4 days, and the introduction of lime (CaCO_3) in the amount of 2 % by weight of the contaminated plants accelerates the decomposition of DDT in 1.2 times.

Keywords: utilization, DDT, pesticides, ameliorator, anaerobic decomposition, composting, contaminated phytomass.

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 536.7

*Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук;
аспір. Б.І. Приставський – НЛТУ України, м. Львів*

**ТЕПЛОТЕХНІЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА
ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ДЕРЕВИННОЇ СИРОВИНИ**

Деревна сировина є найбільш ефективним відновлювальним джерелом енергії, а запаси деревної сировини, як палива, формуються з лісосічних відходів, відходів лісопильних, меблевих та деревообробних виробництв, а також із вживаної деревини. Розглянуто процеси горіння, описано теплотехнічні характеристики деревного палива, продуктів згорання та методику складання теплового балансу.

Ключові слова: деревина, паливо, теплота згорання, теплоємність, теплопровідність, вологість, топкові гази, тепло генератор.

Вступ. Деревна сировина, як паливо, є найбільш гарантованим відновлювальним джерелом енергії, порівняно з енергією вітру, сонця, геотермальною енергією та гідроенергією. Запаси деревної сировини, як палива, складаються з: лісосічних відходів; деревини лісів, яка не придатна для господарських цілей; відходів лісопильних, плитних, меблевих та деревообробних виробництв; вживаної деревини, яка вичерпала свій термін експлуатації; швидкокорослої деревини. Всі ці види деревини можна безпосередньо використати як паливо або переробити в паливні брикети, пелети та синтез-газ. Основними теплотехнічними характеристиками палива з деревини є вміст горючих речовин (вуглець, водень), негорючих речовин (кисень, азот) та баласт (вологість, зола), питома теплоємність і теплопровідність деревини та відходів з неї, а димових (топкових) газів, що утворюються після спалювання деревної сировини, є вища і нижча теплоспроможність палива або теплотворна здатність, кількість димових газів, їх ентальпія та вологовміст.

Деревина в абсолютно сухому стані має такий хімічний склад: кисень – 44,2 %, вуглець – 49,5 %, водень – 6,5 %. З цих хімічних елементів формується відповідні хімічні речовини: целюлоза, геміцелюлоза, лігнін, що становить 90...96 % маси деревини в абсолютно сухому стані. Решта (4...10 %) є екстрактивні, дубильні речовини та смоли, а також неорганічні речовини, які після спалювання утворюють попіл – золу, що складається зі солей кальцію, калію, натрію, магнію тощо. Стовбурна деревина після спалювання дає менше золи, ніж кора і листя.

З одного кубометра деревини можна отримати близько 1500 кіловат-годин електроенергії або близько 0,8 Гкал теплової енергії. Ціна сировини становить приблизно 6 % від вартості виробленої енергії. Важливим є також екологічний аспект використання, як паливо, деревної сировини – кількість викинутого в атмосферу CO_2 прирівнюється до спожитого цього газу під час росту дерева.

Основними тепловими характеристиками палива з деревини є його вища і нижча теплота згорання (теплотворна здатність), питома теплоємність та теплопровідність. Різницею між вищою і нижчою теплотворною здатністю палива можна визначити за формулою

$$\Delta Q_m = 4,19 (81 \cdot C + 300 \cdot H - 26 \cdot O) - (0,01 W_e r_o + \rho_n C_n V \Delta t), \text{ кДж/кг}, \quad (1)$$

де: перший член цього рівняння – вища теплотворна здатність палива (C, H, O – відповідно вміст вуглецю, водню і кисню в паливі); другий член рівняння – це є кількість теплоти, яку потрібно витратити для перетворення води, що є в 1 кг палива (деревини), на пару; третій член рівняння – це кількість теплоти, яку потрібно витратити на підігрів водяної пари, що є в повітрі (потрібно для горіння), до температури горіння палива.

Для відходів з деревини густиною від 200 до 1100 кг/м³ питому теплоємність можна визначити за формулою

$$C = \frac{f}{W} (0,045W^2 + 1,95W - 3,9), \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}, \quad (2)$$

а теплопровідність за формулою

$$\lambda = 0,022 + 0,168 \cdot 10^{-3} \rho_w + 3,82 \cdot 10^{-3} T, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, \quad (3)$$

де: ρ_w – густина деревини з заданою вологістю, кг / м³; T – температура деревини, К. Для пари наведені вище співвідношення (2) і (3) мають такий вигляд:

$$C = 1,3 + (0,023 + \rho \cdot 10^{-4}) W + 0,01 T (T \cdot 10^{-3} - 0,15), \text{ кДж/(кг К)}, \quad (4)$$

$$\lambda = 0,025 + (0,15 + 0,012 W) \rho \cdot 10^{-3} + 1,9 T \cdot 10^{-4}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, \quad (5)$$

Найбільш ефективним є процес спалювання дрібнодисперсного палива в камерних або циклонних топках, який відбувається в потоках сушіння повітря з частинами палива у відповідних пропорціях. Отож, перед спалюванням паливо з деревини потрібно подрібнити до дрібнодисперсного стану і підсушити, що дасть змогу регулювати процес сушіння.

Для запалювання суміші в зоні загорання необхідно створити температуру самозаймання тому, що з цієї зони теплота відводиться холодною сумішшю, яка подається в топку. Теплова потужність джерела загорання повинна бути такою, щоб забезпечити горіння суміші в місці її подачі та навколишніх ділянках. Початковий процес загорання визначають за диференціальним рівнянням густини енергії частинок;

$$\frac{CdT}{fd\tau} = \beta CCK - \alpha (T_r - T_c), \text{ Вт/м}^2, \quad (6)$$

де: C – питома теплоємність частинок палива (деревини), кДж/(кг К); f – питома поверхня частинки $f = 6/(\rho\delta)$, м²/кг (ρ – густина частинок, кг/м³); δ – еквівалентний діаметр частинок, м; Q – теплота згорання палива, кДж/кг; β – хімічна характеристика палива; K – стехіометричний коефіцієнт (відношення маси палива до маси, витраченого на хімічну реакцію кисню); α – коефіцієнт тепловіддачі від частинок до газу, Вт/(м²·К); T_r, T_c – відповідно температура частинок і газу, К.

У випадку горіння частинок палива в кінетичному режимі, процес горіння необхідно перевести в дифузійний режим за рахунок підвищення тем-

ператури, що можливо зробити за допомогою додаткового джерела тепла або шляхом підвищення концентрації частинок у газі. Для опису цього явища до рівняння (6) треба ще долучити диференціальне рівняння густини енергії газу:

$$C_r \rho_r \delta \frac{dT}{d\tau} = \mu f \alpha_r (T_r - T_c), \text{ Вт/м}^2, \quad (7)$$

де: C_r – питома теплоємність газу, кДж/(кг К); ρ_r – густина газу, кг/м³; μ – концентрація частинок палива в газі, кг/м³.

У деревообробній галузі промисловості використовують різні енергетичні агрегати: парові котли, водогрійні котли; теплові генератори топкових газів, повітряні теплогенератори та газотурбінні установки. У парових та водогрійних котлах та в повітряних генераторах теплота, яка отримується від згорання палива, передається проміжному теплоносієві (вода, пара, повітря) через тверду поверхню, який використовують для нагрівання повітря, наприклад у процесах нагрівання і сушіння деревини (шпону, пиломатеріалів, подрібненої деревини).

Для виробництва певної кількості теплоти необхідно витратити відповідну кількість палива. Для цього потрібно скласти тепловий баланс, за яким визначають корисні витрати енергії та енергетичні витрати. Отже, тепловий баланс чисельно підтверджує ступінь перетворення в теплову енергію та показує технічну досконалість енергетичного агрегата.

Тепловий баланс складають для парових і водогрійних котлів та повітряних теплогенераторів із розрахунку на 1 кг твердого палива (деревини або відходів з неї), коли процес горіння є сталим. Теплота, що утворюється в енергетичному агрегаті (Q_Σ), складається з нижньої теплотворної здатності палива (Q_n) та фізичної теплоти палива $Q_n = C_n t_n$, кДж/кг. Отож

$$Q_\Sigma = Q_n + Q_n, \text{ кДж/кг}. \quad (8)$$

Однак баланс тепла визначають за рівнянням

$$Q_\Sigma = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \text{ кДж/кг}, \quad (9)$$

де Q_1 – корисна витрата теплоти, що, наприклад, для водогрійних котлів визначають за формулою

$$Q_1 = \frac{MC_B(T_1 - T_2)}{B}, \text{ кДж/кг} \quad (10)$$

де: M – масова витрата води, кг/год; C_B – питома теплоємність води, кДж/(кг К); B – витрата палива, кг/год; T_1, T_2 – відповідно температура води на виході та на вході води до котла, К; Q_2 – витрата теплоти з димовими газами на виході з теплогенератора.

$$Q_2 = \frac{100 - q_4}{100} (I_{в.г.} - I_{нов.}), \text{ кДж/кг} \quad (11)$$

де: $I_{в.г.}, I_{нов.}$ – відповідно ентальпія вихідних газів і повітря, кДж/кг; q_4 – питома витрати теплоти від механічної неповноти згорання палива; Q_3 – витрата теплоти від хімічної неповноти згорання палива.

$$Q_3 = 23,7 \cdot C \cdot O / (CO_2 + CO), \text{ кДж/кг}, \quad (12)$$

де: С, О, CO₂, СО – відповідний вміст вуглецю, кисню та названих газів, %; Q₄ – витрати теплоти від механічної неповноти згорання палива (від провалів та винесення попелу), тобто

$$Q_4 = 32,7A \left(\alpha_A' \frac{Q_A'}{100 - Q_A'} + \alpha_A'' \frac{Q_A''}{100 - Q_A''} \right), \text{ кДж/кг}, \quad (13)$$

де: A – кількість золи після згорання палива; α_A' , α_A'' – відповідно коефіцієнт теплообміну попелу, що потрапив через колосники та винесеного з димом; Q_A' , Q_A'' – кількість горючих речовин, що потрапили через колосники та винесених із димом. Питомі витрати теплоти

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_\Sigma} \cdot 100\%,$$

де Q₅ – витрата тепла через огородження, кДж/кг. Втрати (Q₅) визначаються експериментальним шляхом або приймають за нормативними даними.

Коефіцієнт корисної дії теплогенератора визначають за формулою

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_\Sigma} \cdot 100\%. \quad (14)$$

Висновки. Теорія горіння палива відтворена в теплотехнічній моделі (формули 6, 7) процесу горіння дрібнодисперсного палива з деревини в теплогенераторі. Складено методику розрахунку теплового балансу на прикладі водогрійного котла, визначено коефіцієнт корисної дії теплогенератора.

Література

1. Андрийчук І.В. Ефективність використання енергії деревної біомаси на деревообробних та лісозаготівельних підприємствах (на прикладі Івано-Франківської області) / І.В. Андрийчук // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету. – Сер.: Економіка: проблеми теорії та практики. – Дніпропетровськ. – 2004. – Вип. 194, т. II. – С. 602-608.
2. Гнатишин Я.М. Теплотехніка : навч. посібн. / Я.М. Гнатишин, В.І. Криштапович. – К.: Вид-во "Знання", 2008. – 364 с.
3. Семенишин І.В. Энерготехнологія хіміко-технологічних процесів : навч. посібн. / І.В. Семенишин, М.С. Мальований. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2005. – 420 с.

Билей П.В., Приставский Б.И. Теплотехническая модель теплогенератора для сжигания древесного сырья

Древесное сырье является наиболее эффективным обновительным источником энергии, а запасы древесного сырья, как топлива, формируются из лесосечных отходов, отходов лесопильных, мебельных и деревообрабатывающих производств, а также из употребляемой древесины. Рассмотрены процессы горения, описаны теплотехнические характеристики древесного топлива, продуктов сгорания и методика составления теплового баланса.

Ключевые слова: древесина, топливо, теплота сгорания, теплоёмкость, теплопроводность, влажность, топочные газы, теплогенератор.

Bilej P.V., Pristavskyy B.I. Heating engineering model warm generator for incineration of arboreal raw material

It is shown that arboreal raw material is the most effective renovation energy source, and the supplies of arboreal raw material, as fuels, are formed from lapwoods, wastes of sawing, furniture and woodworking productions, and also from the used wood. The proces-

ses of burning are considered, it is described heating engineering descriptions of fuelwood of foods of combustion and methodology of stowage of thermal balance.

Keywords: wood, fuel, warmth of combustion, heat capacity, heat-conducting, humidity, fire-box gases, warmly generator.

УДК 674.053:621.935 Доц. Л.Ф. Дзюба¹, канд. техн. наук; викл. О.І. Хитряк²; доц. І.Т. Ребезнюк³, д-р техн. наук

ПОПЕРЕЧНІ КОЛИВАННЯ ПОЛОТНА СТІЧКОВОЇ ПИЛКИ

Досліджено поперечні коливання полотна стрічкової пилки. Нелінійне диференціальне рівняння поперечних коливань розв'язано методом Бубнова-Гальоркіна, використавши основні ідеї методів збурень. Отримано амплітудно-частотні характеристики ділянок полотна стрічкової пилки.

Ключові слова: стрічкова пилка, сила натягу, швидкість, амплітудно-частотна характеристика.

Актуальність і огляд основних результатів. Якість розпилювання деревини на горизонтальних стрічкопилкових верстатах із вузькими пилками визначають за хвилястістю пропилу. За [1] ця хвилястість утворюється внаслідок поперечних згинальних коливань полотна стрічкової пилки. Якщо натягнута вузька стрічкова пилка, що рухається з достатньо великою швидкістю різання (30-50 м/с), входить, коливаючись у площині найменшої жорсткості (у поперечному напрямку), у деревину, то, як наслідок, утворюється хвилястий пропил. Тому явище поперечних коливань полотна вузької стрічкової пилки, що виникає внаслідок: дії несталого обертового моменту від електродвигуна на тяговому пилковому шківі; дисбалансу пилкових шківів; зазорів чи перекосів в опорах валів чи осей механізму різання; незначного ексцентриситету напрямних роликів, – потрібно враховувати як під час проектування стрічкопилкових верстатів, так і під час їхнього експлуатування. На сьогодні відомо невелику кількість робіт, автори яких досліджували коливні процеси в стрічкових пилках. У роботі [2], на підставі розв'язку диференціальних рівнянь згинальних та крутильних коливань полотна стрічкової пилки з урахуванням змінної сили натягу полотна, визначають власні частоти згинальних та крутильних коливань стрічкової пилки та прогнозують її динамічну стійкість. У [3] теоретично досліджено власні коливання розтягнутого полотна стрічкової пилки, коли його моделюють балкою на двох шарнірних опорах, не враховуючи швидкості її поздовжнього руху. Розвиток упорядкованого останнього десятиліття динаміки поздовжньо-рухомих гнучких пружних елементів [4-6] дає змогу дослідити змушені поперечні коливання полотна вузької стрічкової пилки з урахуванням швидкості її поздовжнього руху, тобто швидкості різання.

Постановка задачі та методика її розв'язування. Змушені поперечні коливання полотна стрічкової пилки, що рухається у поздовжньому напрям-

¹ Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

² Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного;

³ НЛТУ України, м. Львів