

6. Maintenance Matters: The Pros and Cons of Electric vs. Diesel Construction Equipment [Electronic resource]. URL: <https://heavyvehicleinspection.com/blog/post/electric-vs-diesel-construction-equipment> (access date 19.09.2025).

7. Балака М., Тетерятник О., Санкін І. Комплексна оцінка застосування моторних палив. Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: матеріали 14-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 берез. 2023 р.). Херсон: ХДМА, 2023. С. 194–196.

8. Drive systems for hybrid and fully electric construction machinery [Electronic resource]. URL: <https://www.baumueller.com/us/industries/e-mobility/construction-vehicles> (access date 19.09.2025).

9. Gorbatyuk Ie., Balaka M., Mishchuk D. Information model of bulldozer-looser movement (2021). The world of science and innovation: Abstracts of the 7th International Scientific and Practical Conference (February 10–12, 2021). Cognum Publishing House. London, United Kingdom. P. 54–59.

10. Міщук Д. О., Міщук Є. О., Балака М. М. Оцінка можливостей накопичення енергії приводом автонавантажувача. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2021. Вип. 95. С. 171–177. URL: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.171>.

УДК 621:43

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ДВЗ

**Філатова Ганна Євгенівна**, д.т.н., проф., проф. кафедри комп'ютерної інженерії та програмування Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (НТУ "ХПІ"),  
e-mail: [filatova@khpri.edu.ua](mailto:filatova@khpri.edu.ua), ORCID: 0000-0003-1982-2322;

**Воронков Олександр Іванович**, д.т.н., проф., професор кафедри ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [dralexadi@gmail.com](mailto:dralexadi@gmail.com), ORCID 0000-0003-2744-7948;

**Афонін Валентин Миколайович**, генеральний директор, Приватна фірма «ПРОМЕНЕРГО», e-mail: [v\\_afonin@ukr.net](mailto:v_afonin@ukr.net), ORCID: 0009-0006-5695-4796;

**Авраменко Андрій Миколайович**<sup>1,2</sup>, 1 – д.т.н., пров. наук. співр. відділу термогазодинаміки енергетичних машин ІЕМС НАН України, 2 – професор кафедри ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [an0100@ukr.net](mailto:an0100@ukr.net), ORCID: 0000-0001-8130-1881

Актуальність роботи пов'язана з необхідністю подальшого вдосконалення показників поршневих ДВЗ, зокрема дизелів, дослідженням і доведенням їх робочих процесів, що не можна на сьогодні уявити без математичного моделювання.

Мета дослідження полягає у створенні математичної моделі та розробці програмного комплексу для розрахунку робочих процесів дизелів, а також верифікації їх за експериментальними даними.

Для виконання поставленої мети у роботі вирішувалися такі завдання: створення методу моделювання робочого процесу з камерою згоряння в поршні, з урахуванням розвитку існуючих методів математичного моделювання; проведення верифікації математичної моделі робочого процесу за опублікованими експериментальними даними для дизеля типу 6Ч 15/15; проведення ідентифікації математичної моделі робочого процесу.

Об'єктом дослідження є робочі процеси дизеля 6Ч 15/15.

Предметом дослідження є оцінка впливу конструктивних і регулювальних параметрів дизеля на показники його роботи.

Для виконання поставленого завдання в роботі було проведено порівняльне чисельне моделювання. Розрахунки виконувались на ЕОМ з використанням створених програм на високорівневій інтерпретованій мові програмування разом із пакетом прикладних програм у інтегрованому середовищі MatLab. З використанням експериментальних даних було виконано верифікацію розробленої математичної моделі робочого процесу дизеля та уточнено емпіричні коефіцієнти.

Математична модель для розрахунку робочого процесу дизеля, розрахована для дизеля, що має конкретну конструкцію і включає моделювання процесів упорскування (Рисунок 1 та 2), випаровування, сумішоутворення та згоряння палива (Рисунок 3), а також визначалися його індикаторні та ефективні показники.

Використання загальних рівнянь гідродинаміки, теплофізики та термодинаміки зумовлюють достовірність та обґрунтованість наукових положень роботи, збіг розрахункових та експериментальних даних.

Розробка комп'ютерної програми розрахунку робочого процесу дизеля, орієнтована для потреб НДР, ДКР, навчання фахівців та студентів безсумнівно має практичну цінність при отриманні результатів досліджень робочих процесів випускаються та перспективних дизелів.

Метод отримання розгорнутої індикаторної діаграми, використовує аналітичні залежності розрахунку дійсного робочого циклу випробуваного двигуна, заснованих на відомих теоретичних положеннях, викладених у роботах В.І. Гріневецького, Е.К. Мазинга, І.І. Вібе, Н.Ф. Разлейцева та інших [1, 2].

Математичне моделювання процесів сумішоутворення та згоряння заснована на моделі Н.Ф. Разлейцева, яка використовує «термодинамічний» підхід. При цьому, для отримання надійних результатів розрахунку необхідно застосування зонних моделей.

Розрахунок розвитку вершини струменя ведеться за емпіричними рівняннями А.С. Лишевського. Розрахункова модель дозволяє враховувати наявність вихору в камері згоряння (КЗ), при цьому розраховується деформація струменя в тангенціальному напрямку, у процесі вільного розвитку в КЗ та при розтіканні палива на поверхні КЗ.

Модель дозволяє розраховувати сумішоутворення та згоряння з урахуванням взаємодії зі стінками КЗ. Дана обставина має велике значення, так як відомо, що більшу частину часу розвитку, на режимах великої потужності і

великого моменту, що крутить, струмінь знаходиться в контактi зі стінкою, і розподіл палива в пристінкових зонах відіграє велику роль.

На підставі припущення, що циліндр є відкритою термодинамічною системою зі змінним об'ємом, проводиться розрахунок параметрів газу в циліндрі. В об'ємі циліндра є змінний тиск повітряного заряду і зони з паливом, що впорскується. Для визначення параметрів газу в циліндрі вирішується система рівнянь алгебри. Для розрахунку динаміки тепловиділення  $dx/dx$  в роботі використовується модель І.І. Вібе (Рисунок 4 та 5).

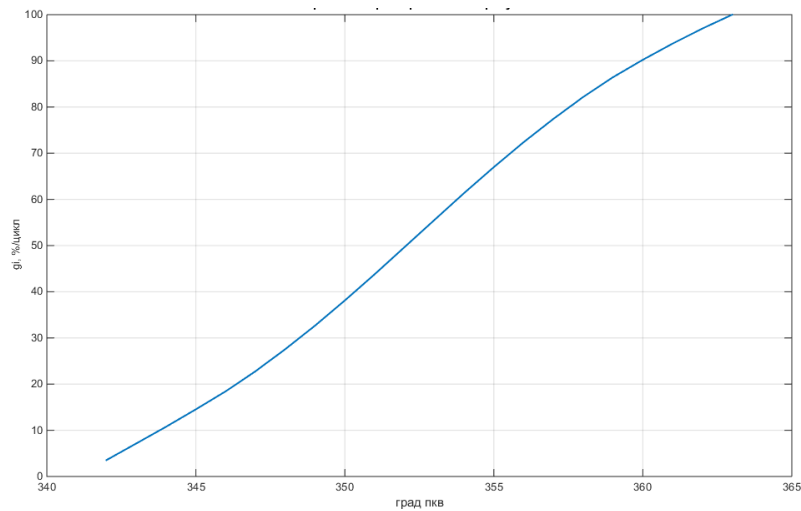


Рисунок 1 – Інтегральна характеристика упорскування

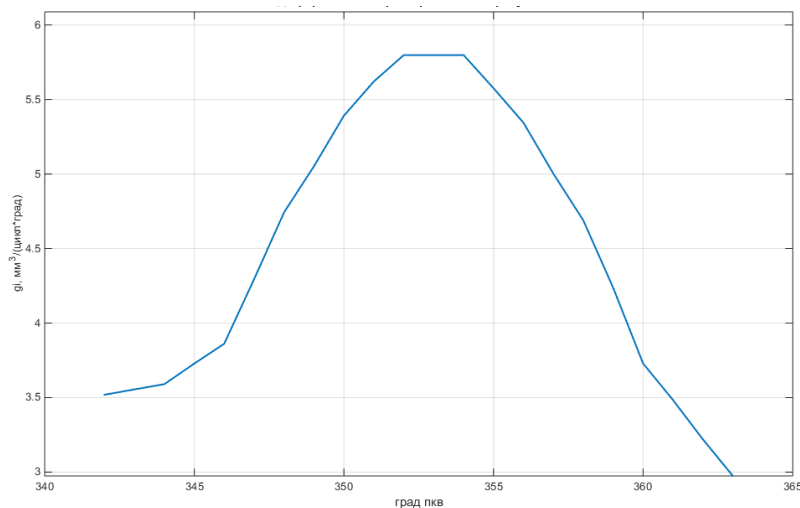


Рисунок 2 – Диференційна характеристика упорскування

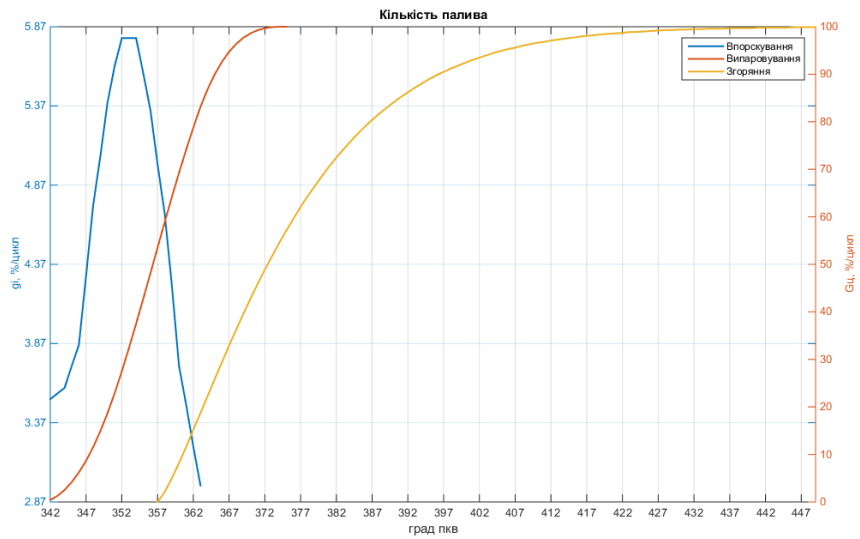


Рисунок 3 – Зміна процесів упорскування палива, випаровування та згоряння

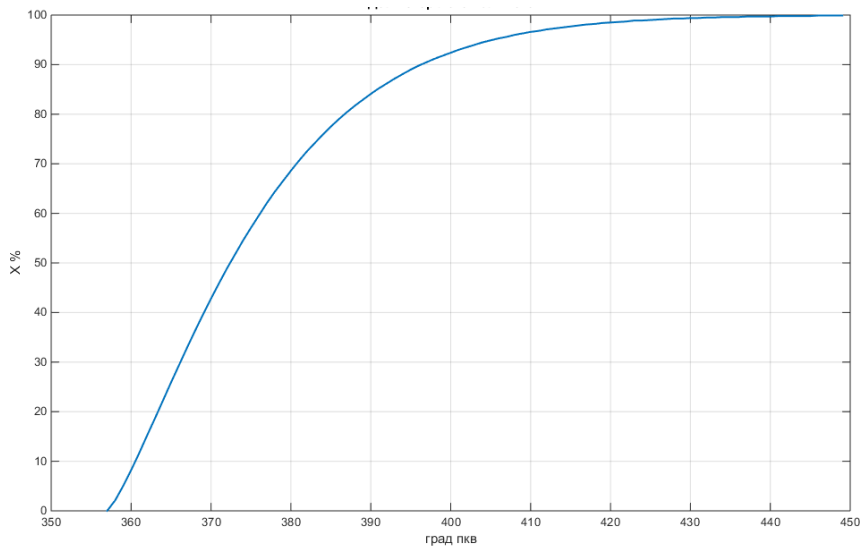


Рисунок 4 – Доля згорілого палива

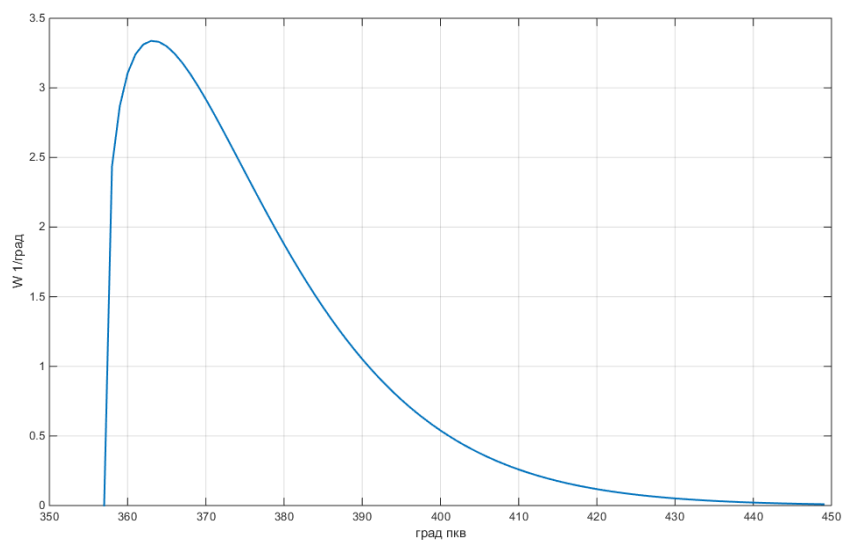


Рисунок 5 – Швидкість згоряння палива

## Висновки

Для уточненого розрахунку робочого процесу розроблено математичну модель робочого процесу дизеля, що враховує конструктивні та режимні фактори, які впливають на його показники. Концепція математичного моделювання робочого процесу полягає в обліку взаємозв'язку параметрів робочого процесу і конструктивних параметрів дизеля.

Створена комп'ютерна програма для розрахунку робочого процесу дизеля дозволяє отримувати інформативні дані про перебіг робочого процесу під впливом конструктивних і режимних факторів та забезпечує більш обґрунтоване призначення граничних умов при подальших розрахунках та проектуванні конструктивних і режимних параметрів досліджуваних двигунів.

## Література

1. А.П. Марченко, О.О. Осетров, О.Ю. Линьків. Математична модель процесу згоряння палива у дизелі. Двигуни внутрішнього згоряння. Харків.2013. №1. С. 3-10.
2. Разлейцев Н. Ф. Моделювання та оптимізації процесу згоряння в дизелях / Н. Ф. Разлейцев. - Харків: Вища школа. Вид-во при Харк. ун-ті, 1980. – 169 с.

УДК 556.536

## ГІДРАВЛІЧНЕ І ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРНО СТІЙКИХ ХВИЛЬ У ПРЯМОКУТНОМУ РУСЛІ

**Авершин Андрій Геннадійович**, канд. техн. наук, доцент кафедра ДМ та ТММ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [avershin.andrey@gmail.com](mailto:avershin.andrey@gmail.com), ORCID: 0000-0002-9522-7229

**Біловол Олександр Васильович**, канд. техн. наук, доцент кафедра ДМ та ТММ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [avbelovol58@gmail.com](mailto:avbelovol58@gmail.com), ORCID: 0009-0006-4465-6206

Найбільш важливими водоперепускними спорудами на водотоках є мостові переходи. На них безпосередньо впливають хвильові збудження, такі як повені, хвилі заповнення під час проривів та обвалів дамб, а також хвилі підпору під час зміни рівня води у водосховищах. Структурно стійкі хвильові збудження в нелінійному середовищі, які поширюються з постійною швидкістю, не змінюючи форми та залишаючись локалізованими, називаються солітонами. Вважається, що виникнення солітону є результатом двох факторів. Один з яких сприяє збільшенню ширини хвилі, а інший – зменшенню її ширини та збільшенню її крутизни. У випадку потенційного руху ідеальної рідини такими факторами є нелінійність, яка збільшує крутизну профілю хвилі та є проявом інерційних сил, а також дисперсія, яка призводить до розбіжності