

13. MAHLE Clevite (2008) Turbocharger: Damage Profiles, Causes, and Prevention. Technical information MO-2-613. MAHLE Clevite Inc., United States, 16.

14. Miller J. (2008) Turbo: Real World High-Performance Turbocharger Systems (S-A Design) Pa-perback, CarTech, 160.

15. Cengel, Yu.A. (2015). Heat and Mass Transfer. Fundamentals and Applications, McGraw–Hill Education New–York, USA, 968.

**УДК 621.431**

## **МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНА ПРИ ПРОВЕДЕННІ АВТОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ**

**Хрулев Олександр Едуардович**, доктор техн. наук, старший науковий співробітник, судовий експерт, e-mail: [alo.engine@gmail.com](mailto:alo.engine@gmail.com), тел. +38 096 616 183, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-6841-9225>.

**Сараєва Ірина Юріївна**, канд. техн. наук, доцент, кафедра інжинірингу систем автомобільного транспорту ім. Говоруценка М.Я., Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [sarayeva9@gmail.com](mailto:sarayeva9@gmail.com) ORCID: [0000-0003-2362-023X](https://orcid.org/0000-0003-2362-023X)

**Дібров Віталій Костянтинівич**, здобувач третього рівня навчання (аспірант), кафедра інжинірингу систем автомобільного транспорту ім. Говоруценка М.Я., Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [v.dibrov0201@gmail.com](mailto:v.dibrov0201@gmail.com) ORCID: [0000-0003-2362-023X](https://orcid.org/0000-0003-2362-023X)

**Сохін Андрій Андрійович** – аспірант кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, e-mail: [sokhin.andriy94@gmail.com](mailto:sokhin.andriy94@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2120-4120>

Поява несправності двигуна в експлуатації сучасного автомобіля нерідко приводить до порушення ряду функціональних параметрів і звичайно викликає реакцію системи самодіагностики шляхом запису коду помилки та спрацьовування лампи несправності (MIL). На етапі ушкодження і його початкового розвитку система самодіагностики може бути корисна для локалізації несправності з метою наступного визначення її причини. Дійсно, сучасні системи самодіагностики деяких транспортних засобів дозволяють в окремих випадках зафіксувати й ідентифікувати момент початкового експлуатаційного ушкодження, звідки іноді навіть можна одержати навіть точний час від початкового ушкодження до відмови. Практика показує, що зробити це можна як у початковий період після первинного ушкодження, так і після його розвитку й виникнення відмови. Однак використовувати ці дані для створення якихось кількісних закономірностей найчастіше неможливо через вплив особливостей конструкції конкретних ДВС, режимів роботи після ушкодження, особливостей запису й зберігання інформації в більшості систем

самодіагностики ( у тому числі, стирання інформації після зняття живлення) і, як наслідок, значних труднощів у зборі необхідної статистики. У результаті експерт-дослідник нерідко зустрічається тільки з кінцевим результатом відмови, наприклад, з більшою кількістю уламків зруйнованих деталей – шатуна, поршня й блоку циліндрів, а в деяких випадках із уже демонтованим і розібраним двигуном, коли одержати й скористатися даними діагностики не представляється можливим.

При дослідженні ушкоджень, що виникають при порушенні умов експлуатації, особливе значення набувають питання міцності деталей. Багато початкових ушкоджень розбудовуються із часом і закінчуються усталостним руйнуванням деталі. Проте, у деяких випадках вплив має миттєвий характер, коли високі навантаження на деталі з конструкційних матеріалів можуть викликати пластичні деформації.

Крім цього, відомі випадки втрати стійкості стрижневих деталей (шатуни, штанги привода клапанів). Так, що викликає втрату стійкості критичне значення напруги  $\sigma_{cr}$  залежить від гнучкості стрижня [26]:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i} \quad (1),$$

де  $l$  – довжина стрижня;  $i$  – радіус інерції поперечного переріза стрижня;  $\mu$  – коефіцієнт приведення довжини [1].

В області отриманих значень гнучкості критичне напруження близьке до границі текучості матеріалу, але трохи менше його. Згідно [2], урахувати вплив гнучкості стрижня на критичне напруження можна за допомогою коефіцієнта зниження, що допускається напруги  $\varphi_\sigma$ , тобто:  $\sigma_{cr} = \sigma_t \varphi_\sigma$ , де  $\sigma_t$  – границя текучості матеріалу шатуна.

Стискаючі сила й напруги в стрижні можуть бути пов'язані з максимальним тиском у циліндрі, виходячи з умови втрати шатуном стійкості (після якого тиск не росте):

$$R_{max} = (p_1 - p_0) F \quad (2),$$

$$p_1 = p_0 + \sigma_{max} \frac{A}{F} \quad (3),$$

де  $F$  – площа поршня;  $A$  – площа поперечного переріза стрижня шатуна;  $p_0$  – тиск у картері;  $R_{max}$  – максимальна сила стиску;  $\sigma_{max}$  – максимальна напруга стиску (питома сила стиску), рівне відношенню сили до площі поперечного переріза стрижня  $A$ .

Усі зазначені рівняння знаходять застосування в завданнях проектування, однак для визначення причин несправностей при порушенні умов експлуатації вони фактично не застосовувалися, і їхнє застосування в цій області не було обґрунтовано.

Найбільше сильно це стосується методів 3-d моделювання. Наприклад, програмний комплекс ANSYS, широко відомий і розповсюджений у наукових

дослідженнях і конструкторських розробках [3, 4], у цей час взагалі ніяк не задіяний і не застосовується в експлуатаційних завданнях дослідження ушкоджень двигунів при порушенні умов експлуатації. Однак на відміну від багатьох конструкторських програм, саме ANSYS дозволяє розглядати стан елементів ДВС далеко за межами робочих режимів. Крім того, цей комплекс однаково ефективний як для визначення напружено-деформованого стану деталей, так і для моделювання просторових плинів у каналах [5, 6].

Так, при моделюванні напруг і деформацій пластичних матеріалів в ANSYS прийнято розраховувати еквівалентні напруги  $\sigma_e$  по фон Мизесу, які відповідно енергетичній (четвертої) теорії міцності [7] обчислюються по формулі:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}, \quad (4)$$

де  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруги ( по осях X, Y і Z).

Перевищення еквівалентною напругою в якому-небудь елементі деталі границі текучості матеріалу означає втрату міцності й поява залишкових деформацій, що має принципове значення для розв'язку практичних експлуатаційних завдань (наприклад, про втрату стійкості стрижнем шатуна).

### Висновки

Вирішення проблем правильного й ефективного визначення причин несправностей залишається актуальним завданням на всіх етапах експлуатації двигунів автомобілів. В експертній практиці прийнято користуватися декількома методами, до яких ставляться діагностичні, а також методи, засновані на аналізі ознак ушкодження окремих деталей. При дослідженні ушкоджень, що виникають при порушенні умов експлуатації, особливе значення набувають питання міцності деталей. Багато початкових ушкоджень розбудовуються із часом і закінчуються руйнуванням деталі. Проте, у деяких випадках вплив має миттєвий характер, коли високі навантаження на деталі з конструкційних матеріалів можуть викликати пластичні деформації. Крім цього, відомі випадки втрати стійкості стрижневих деталей (шатуни, штанги привода клапанів). Перевищення еквівалентною напругою в якому-небудь елементі деталі границі текучості матеріалу означає втрату міцності й поява залишкових деформацій, що має принципове значення для розв'язку практичних експлуатаційних завдань. На відміну від багатьох конструкторських програм, саме ANSYS дозволяє розглядати стан елементів двигуна далеко за межами робочих режимів. Крім того, цей комплекс є ефективний для визначення напружено-деформованого стану деталей.

### Література

1. Greuter E., Zima S. (2012) Engine Failure Analysis. Internal Combustion Engine Failures and Their Causes. SAE International, 568.

2. Khrulev, A.E., Saraiev, O.V. (2021) Local Abrasive Wear in Automobile Internal Combustion Engines. Monograph. LAP LAMBERT Academic Publishing, Chisinau, 70.
3. Khrulev A.E., Kochurenko Yu.V. (2017) Metodika opredeleniya prichiny neispravnosti DVS pri tyazelykh ekspluatazhionnykh povrejdeniyakh. Internal combustion engines, No.1, 52-60. DOI: 10.20998/0419-8719.2017.1.10 [
4. Khrulev A.E., Saraiev O.V. (2021) The method of expert assessment of the technical condition of an automobile engine after overheating. Автомобільний транспорт, 48, 5-16. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2021.48.0.5>.
5. Dmitriev S.A., Khrulev A.E. (2020) Some aspects of influence of the connecting rod design on the output parameters of high-speed internal combustion engines. Проблеми тертя та зношування, №1(86), 23-37. DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.1\(86\).144855](https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(86).144855).
6. Laskowski R. (2015) Fault Tree Analysis as a tool for modeling the marine main engine reliability structure. Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin, no.41 (113), 71-77.
7. MAHLE Clevite (2008) Turbocharger: Damage Profiles, Causes, and Prevention. Technical information MO-2-613. MAHLE Clevite Inc., United States, 16.

**УДК 656.13**

## **РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРІЮ ВВЕДЕННЯ СВІТЛОФОРНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ**

**Шевчук Євгеній Вікторович**, аспірант,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

e-mail: [shev81089@gmail.com](mailto:shev81089@gmail.com), ORCID: [0009-0001-9004-1695](https://orcid.org/0009-0001-9004-1695)

**Наглюк Іван Сергійович**, докт. техн. наук, професор, завідувач Кафедри організації та безпеки дорожнього руху,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

e-mail: [isnagluk@ukr.net](mailto:isnagluk@ukr.net), ORCID: [0000-0001-9411-4479](https://orcid.org/0000-0001-9411-4479)

У дорожньому русі основною метою є безперешкодний пропуск транспортних та пішохідних потоків на максимальних швидкостях сполучення з мінімальними затримками біля стоп-ліній перехресть або пішохідних переходів та максимальною безпекою дорожнього руху.

Організація та управління дорожнім рухом - це складний проблемний дорожньо-транспортний комплекс, що включає транспортні та пішохідні потоки з їхньою взаємодією як об'єкт управління, потенціали проїжджих частин дорожніх мереж, їх перехресть як об'єкт організації реалізується в основному за рахунок інженерно-технічних та організаційно-нормативних рішень, а також програмно-математичного та методологічного забезпечення.

Для організації та управління дорожньо-транспортним комплексом необхідні нові методи вирішення завдань, пов'язані з пропуском транспортних