

## Висновки

1) З рис. 2,а видно, що при кутах  $\alpha$  більше  $28^\circ$  напруження сильно зростають (величина сходитки зростає і згодом стає значно більшою), а габарити зменшуються вже незначно. Тому дослідження підтвердили відомий факт, що найбільш раціональний діапазон кутів зачеплення  $20^\circ$ – $28^\circ$ , (до  $20^\circ$  може виникати підрізання та інші шкідливі явища).

2) Значення кута зачеплення  $\alpha$  в діапазоні  $20^\circ$ – $25^\circ$  (навіть до  $28^\circ$ ) можна досягти використанням стандартного зубонарізного інструмента (з  $\alpha=20^\circ$ ) та максимально допустимого зсуву  $x_1=x_{\max}$ .

## Література

1. J. J. Uicker Jr., Gordon R. Pennock, і J. E. Shigley, Theory of Machines and Mechanisms. New York, Oxford, Oxford University Press, 2017.
2. Гречко, Л. П. Розширений конспект лекцій з теорії механізмів і машин / Л. П. Гречко, В. А. Перегон. Харків: ХНАДУ, 2023. 440 с.
3. Autodesk 3D Design, Engineering & Construction Software [Online]. Available: <https://www.autodesk.com>.
4. Курмаз Л. В. (2010) Основи конструювання деталей машин. Kurmaz L. V. (2010) Osnovy konstruyuvannya detaley mashyn [Fundamentals of designing machine parts]
5. Момот Д. І., Шарапата А. С. Передачі зачепленням. Розрахунок на міцність. Харків, ХНАДУ, 2007, 183 с.

Гогоренко Олексій Анатолійович, к.т.н., доцент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, [oleksii.gogorenko@nuos.edu.ua](mailto:oleksii.gogorenko@nuos.edu.ua)  
Немченко Андрій Володимирович, аспірант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, [nemchenkoandrey89@gmail.com](mailto:nemchenkoandrey89@gmail.com)

## ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ УТВОРЕННЯ КОНДЕНСАТУ В ОХОЛОДЖУВАЧАХ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ

При проектуванні та випробуваннях охолоджувачів наддувного повітря (ОНП) та систем охолодження ДВЗ необхідно врахувати режими роботи, при яких відбувається конденсація вологи в наддувному повітрі, щоб оцінити можливі наслідки даного процесу. Особливо важливо враховувати, що конденсація вологи супроводжується виділенням тепла в процесі фазового переходу, що тягне за собою підвищення температури повітря, яке проходить через ОНП, та збільшення теплового потоку, що передається від ОНП до охолоджуючої рідини. Це, у свою чергу, може призвести до підвищення температури масла та охолоджуючої рідини в системах двигуна. Врахування

цих факторів потрібне для забезпечення надійної та ефективної роботи систем охолодження та запобігання можливим проблемам у роботі ДВЗ.

Пропонується метод розрахунку охолоджувачів наддувного повітря з урахуванням можливого утворення конденсату, який є зручним для виконання на комп'ютері та не потребує використання *I-d* діаграм для розрахунків. Основою розрахунку є алгоритм вирішення так званої оберненої задачі розрахунку теплообмінника на основі залежності між числом одиниць переносу тепла (NTU) та тепловим ККД ( $\eta$ ) [1]. Практично розрахунок теплообмінника з утворенням конденсату рекомендується виконувати, розбиваючи його на декілька коротких сегментів вдовж напрямку руху повітря (зазвичай це один ряд трубок). Описаний метод відтворює графічний підхід до визначення зміни вологості в поверхневому охолоджувачі на основі аналітичного опису окремих елементів *I-d* діаграми та подальших побудов на її основі. Ці побудови також надаються у формі аналітичних описів відповідних дій на підставі відомих рекомендацій.

На основі методики оберненого розрахунку ОНП з вищеописаними особливостями, були розглянуті можливості охолодження наддувного повітря двигуна типу MTU 20V4000G63 (20ЧН 17/21) при різних рівнях наддуву. Розглядалася маловитратна система охолодження, яка могла б забезпечити мінімальну температуру повітря за ОНП серед відомих рекуперативних систем [2, 3].

На основі проведених розрахунків встановлено, що вже при значенні  $\phi$  (відносна вологість) приблизно 0,45 для середніх літніх умов центральної частини України, спостерігається зростання температури повітря за ОНП, яке обумовлено утворенням конденсату (рис. 1). У цей же час загальна теплова потужність теплового потоку від наддувного повітря до системи охолодження збільшується через тепло від конденсату, який випадає на поверхні теплообміну. Це призводить до збільшення температури охолоджуючої рідини (в більшій мірі) та масла (в меншій мірі) на виході із двигуна. Підвищення температури охолоджуючої рідини за двигуном при великих значеннях  $\phi$  може перевищити допустимі значення і викликати примусове зниження потужності.

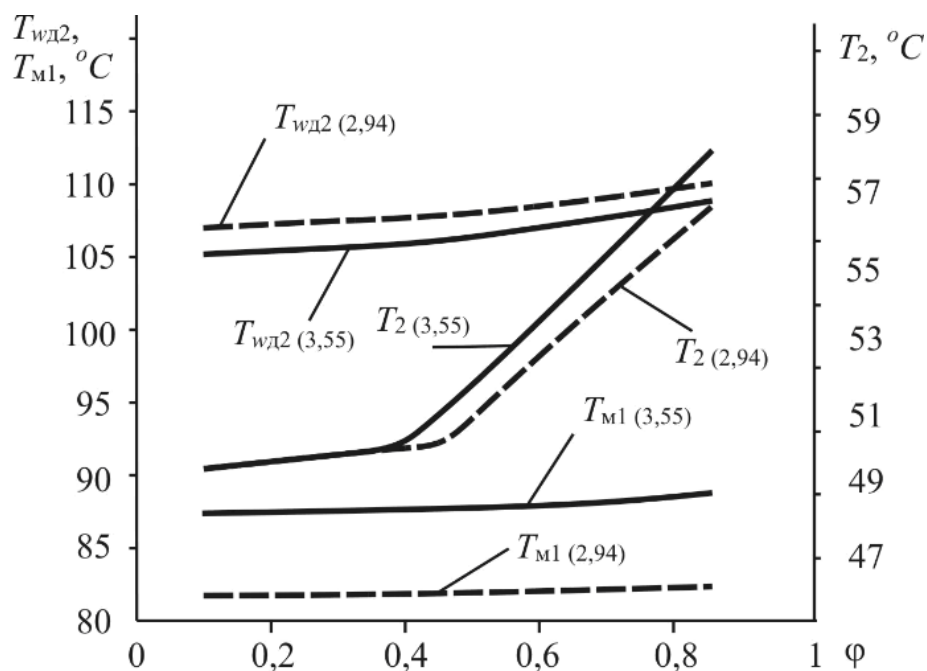


Рисунок 1 – Залежності температур наддувного повітря за ОНП, температури охолоджуючої рідини і температури масла за двигуном від відносної вологості оточуючого повітря ( $\phi$ ) при різних рівнях наддуву та при однакових початкових значеннях  $T_2$ . Числа в дужках вказують на ступінь підвищення тиску наддуву в ТК

Ефект впливу тиску наддувного повітря на погіршення роботи ОНП через конденсацію води може відрізнитися в залежності від початкових параметрів розглянутих ОНП і систем охолодження. За однакових ККД охолоджувачів наддувного повітря конденсація води для двигуна з підвищеним наддувом призводить до більшого зростання температури повітря за ОНП, ніж для двигуна з низьким наддувом.

### Література

1. Kuppan Thulukkanam. Heat Exchanger Design Handbook // CRC Press, Second Edition. – 2013, 1245 p.
2. Мошенцев Ю. Л. Базова схема системи охолодження ДВЗ, як основа для створення високоефективних систем / Ю. Л. Мошенцев, О. А. Гогоренко // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2023. – № 1 (490). – С. 86-95 [doi.org/doi.org/10.15589/znp2023.1\(490\).11](https://doi.org/10.15589/znp2023.1(490).11)
3. Yuryi Moshentsev, Oleksiy Gogorenko, Olha Dvirna. Rational Liquid Cooling Systems of Internal Combustion Engines // Advances in Science and Technology Research Journal 2022, 16(1), p. 158-169. [doi.org/10.12913/22998624/144345](https://doi.org/10.12913/22998624/144345)