ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.565.001.63

Підтримання режимних параметрів в приміщеннях за допомогою систем кондиціювання повітря

О. С. Подмазко[1]✉, Н. О. Піщанська[2], І. О. Подмазко[3]
[1]Одеський національний технологічний університет, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна
[2-3]Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» Національної академії аграрних наук України, вул. Маякська дорога, 26, смт. Хлібодарське, Одеська обл., 67667, Україна
✉ e-mail: [1]apodmazko@ukr.net
ORCID: [1]https://orcid.org/0000-0002-0935-2761; [2]https://orcid.org/0000-0002-5337-4538;
[3]https://orcid.org/0009-0002-9804-7116

Стаття присвячена актуальній проблемі підвищення енергоефективності та екологічної безпеки контактних апаратів систем кондиціювання повітря (СКП) за рахунок використання регулярних насадок (РН) із сучасних синтетичних матеріалів. У роботі проаналізовано недоліки існуючих локальних зволожувальних пристроїв (економічні витрати, ризик виникнення хвороби легенів) та традиційних форсункових камер центральних систем кондиціювання (ЦСКП), які потребують постійної роботи насоса. Як альтернативу розглянуто використання плівкових касетних зволожувачів, що дозволяють скоротити час роботи водяного насоса завдяки утриманню вологи на поверхні матеріалу. Проведено порівняльні експериментальні дослідження шести типів регулярних насадок (РН I–VI), виготовлених на основі целюлозних волокон (GLASdek 3), поліетилентерефталату (ПЕТ), полівінілхлориду (ПВХ) та базальтового волокна (Мінпласт). Оцінено їхні ключові геометричні та теплогідравлічні характеристики: питому площу поверхні в одному кубічному метрі ($f_{к.п}$), аеродинамічний опір (ΔP) залежно від швидкості повітряного потоку, а також тривалість утримання водяної плівки після вимкнення насоса. Досліджено динаміку зміни температури водяної плівки та розподіл питомої витрати води за довжиною насадки. З урахуванням класифікації проф. А.А. Римкевича за тепловими навантаженнями (від I до IV класу) та методу оптимальних режимів обґрунтовано застосування РН для обробки зовнішнього повітря протягом усього річного циклу в приміщеннях зі значними тепловиділеннями, зокрема в машинних відділеннях та котельнях. На основі отриманих експериментальних даних сформульовано практичні рекомендації: визначено, що насадки з ПЕТ та мінпласту є найбільш оптимальними за своїми експлуатаційними та конструктивними характеристиками для впровадження в секціях зволоження ЦСКП.

Ключові слова: *Центральні системи кондиціювання повітря; Регулярна насадка; Зволоження повітря; Енергоефективність; Теплове навантаження; ПЕТ; Мінпласт*

doi: https://doi.org/10.15673/ret.v62i1.3497

© The Author(s) 2026. This article is an open access publication
This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

1. Вступ

Як відомо, основна задача всіх систем кондиціювання повітря (СКП) – це підтримання заданих температур і вологості в приміщеннях, в незалежності від того чи це комфортне, або технологічне СКП. Більшість сучасних систем кондиціювання є енергоефективними. Між собою вони різняться набором функцій, точністю підтримки температури, потужністю, видом робочої речовини. При ви-

борі системи потрібно враховувати, яке завдання вона буде вирішувати і в яких умовах працювати.

На сьогодні використовують такі СКП, як спліт системи; чилер (водоохолоджувач) – фанкойлові системи; прецизійні системи кондиціювання; мультизональні системи кондиціювання та центральні системи кондиціювання повітря (ЦСКП). Відповідають вимогам підтримання заданих температур і вологості в приміщеннях тільки ЦСКП. Всі інші потребують використання зволожувальних пристроїв (’холодні’, парові та ультразвукові). Основною характеристикою для усіх зволожувачів є кількість вологи, яку вони можуть виділити за одиницю часу (г/год, або л/год). Використання таких пристроїв веде до додаткових матеріальних витрат. Окрім того, може виникнути хвороба легіонерів. Це важка інфекційна хвороба, викликана бактерією Legionella pneumophila, що характеризується запаленням легень (пневмонією). Зараження відбувається при вдиханні водяного аерозолю (у душі,, фонтанах). Основні симптоми: висока температура (до 40 °С), озноб, кашель з мокротинням, біль у грудях. Потребує раннього лікування антибіотиками. На відміну від цього, в ЦСКП формується повітря з визначеними температурою, та відносною вологістю повітря, яке в подальшому поступає в приміщення.

Зазвичай ЦСКП для зволоження повітря використовують форсункові камери, в яких повітря зволожується за рахунок розпилення води. Слід зауважити, що дотик повітря з краплиною води менш ефективний в порівнянні з плівкою води. Також потрібно, щоб водяний насос форсункової камери працював постійно, що веде до додаткових енерговитрат. Більш ефективним зволоження повітря являється використання синтетичних матеріалів для створення касет (насадок), через які проходить повітря [1]. З одного боку зростає ефективність зволоження повітря, але з іншого – збільшується аеродинамічний спротив. Це можна компенсувати за рахунок зменшення часу роботи водяного насосу, оскільки вода в вигляді плівки на поверхні синтетичного матеріалу все ще залишається при зупинці насосу. Тому розробка ефективних пристроїв на сьогодні являється актуальною.

Для дослідження в якості синтетичних матеріалів були використані: високоефективний вогнестійкий матеріал від компанії Munters, призначений для випарного охолодження та зволоження повітря. Він складається з просочених целюлозних волокон, сертифікований за стандартом GREENGUARD Gold (GLASdek 3); поліетилентерефталат (ПЕТ); термопластичний полімер, один з найпопулярніших видів пластмаси, що отримується з етилену та хлору (кухонної солі). Він відрізняється високою міцністю, довговічністю, вологостійкістю та стійкістю до хімічних речовин (ПВХ) та тонкі плити на основі базальтового волокна (Мінпласт).

Найбільш визначальною характеристикою цих матеріалів є співвідношення поверхні в одному кубічному метрі ($f_{к.п}$, м^2/м^3). Від цього залежить компактність пристрою (регулярна насадка РН) для зволоження повітря. Так для GLASdek 3 (РН IV), ПЕТ (РН III), ПВХ РН V(РН VI) та мінпласту РН I(РН II) це співвідношення складає відповідно 543, 560, 138 (91) та 381(174) м^2/м^3.

2. Експериментальні дослідження

Ці насадки були взяті за основу при проведенні експериментальних досліджень. На рис.1 показані експериментальні данні: скільки залишається змочена поверхня насадки в залежності від швидкості повітря. Це дозволяє не вмикати водяний насос для зрошування поверхні насадки.

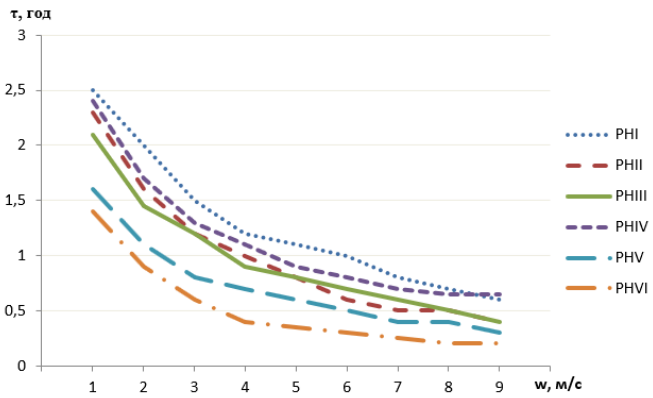

Рисунок 1 *— Залежність часу тримання води τ на поверхні насадки від швидкості потоку повітря в живому перетині насадки w.*

Як видно із рис.1 найбільша спроможність залишатись воді на поверхні насадки має РН1, а найменше – РН VI.

Як відомо, при випаровуванні води з поверхні її температура знижується, та і сама товщина плівки зменшується, чим більша швидкість повітря, а відповідно масова витрата його в живому перетині насадки. Експериментальні дослідження представлені на рис.2.

Як видно з рис.2 зниження температури плівки води відбувається до певного моменту і далі спос-

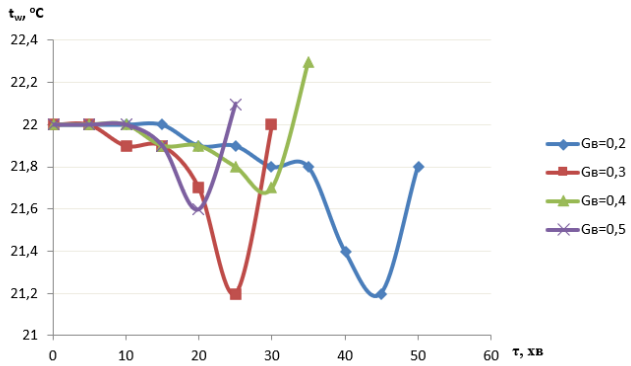

Рисунок 2 *— Зміна температури поверхні води t_w протягом часу τ при різних масових витратах повітря $G_в$.*

терігається підвищення температури. Це означає, що вся вода випарувалась і потрібно вмикати водяний насос.

При досліджені насадок також цікава інформація щодо розподілу в ній парового та рідинного потоків. Це показано на рис. 3 і 4.

Як зазначалось вище, величина аеродинамічного спротиву також являється суттєвим значенням при виборі ефективної насадки, оскільки це впливає на енерговитрати вентилятора центрального кондиціонера. Очевидно, що чим більше співвідношення поверхні в одному кубічному метрі насадки, тим більшим буде аеродинамічного спротиву. На рис.5 представлені результати експериментальних досліджень.

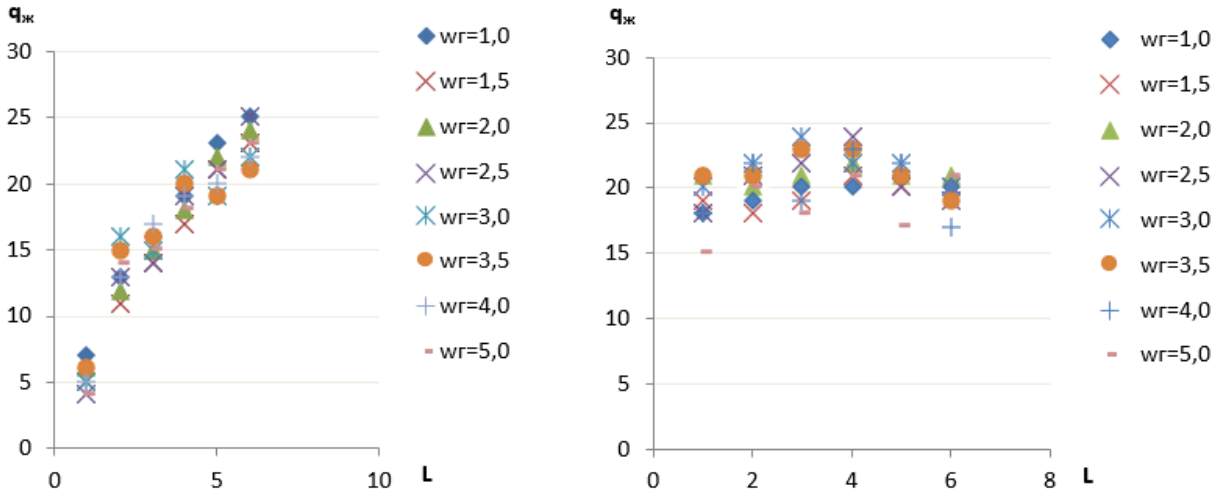

Рисунок 3 *— Розподіл питомої витрати води $q_ж$ по довжині насадки L: ліворуч для PHII, PHV, PHVI і праворуч для PHI, PHIII, PHIV, при відповідних швидкостях повітряного потоку $w_Г$.*

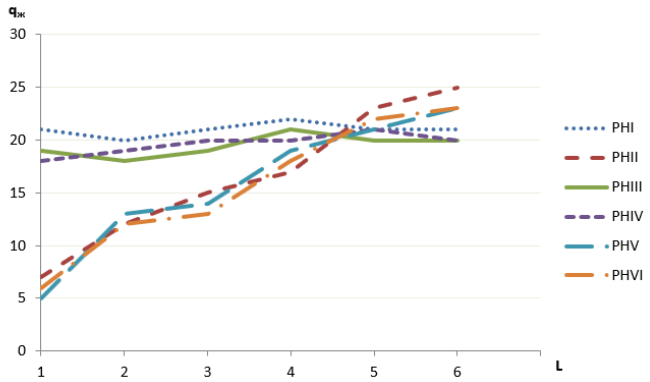

Рисунок 4 *— Розподіл питомої витрати води $q_ж$ по довжині насадки L.*

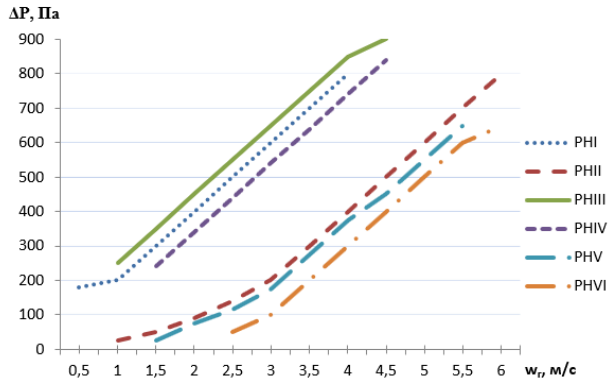

Рисунок 5 *— Залежність аеродинамічного опору ΔP насадок від швидкості повітряного потоку $w_г$*

Слід звернути увагу на те, що при використані систем кондиціювання повітря велике значення має те, яке теплове навантаження має приміщення в якому використовується ЦСКП. Якщо при комфортному кондиціюванні все однозначно (параметри внутрішнього повітря: температура 21-23 °С, вологість 45-50%), то при технологічному кондиціюванні все далеко не так. Різні технологічні процеси, що відбуваються в цих приміщеннях мають своє теплове навантаження:

- Хімічне виробництво.
- ЦОД (Центри обробки даних) та серверні: За-

безчення стабільної роботи серверів та запобігання перегріву обладнання.

- Фармацевтична та медична промисловість: Підтримка стерильності та строго певної вологості в лабораторіях, операційних та пологових боксах.

- Електронна промисловість: Чисті кімнати для виробництва мікрочіпів, де неприпустимий пил та перепади температури.

- Склади, архіви та музеї: Підтримка постійної вологості для зберігання матеріалів (папір, продукти, картини).

- Харчова промисловість: Теплиці, тваринництво та цехи з переробки, де важливо контролювати клімат.

- Промислові цехи: Охолодження виробничих ліній.

- Транспортування зерна морем.

- Виготовлення паперу.

- Машинні відділення.

- Котельні.

- Цехи лакофарбових покриттів і т. д. і т. п.

Згідно теплових навантажень в цих приміщеннях користуються методикою, яку запропонував проф. А.А. Римкевич [3]. В залежності від теплового навантаження було запропоновано використати чотири класи, від мінімального (клас I) до максимального (клас IV). Для використання вище згаданих насадків скористуємося методом оптимальних режимів, що запропонував проф. А.А. Римкевич (рис.6).

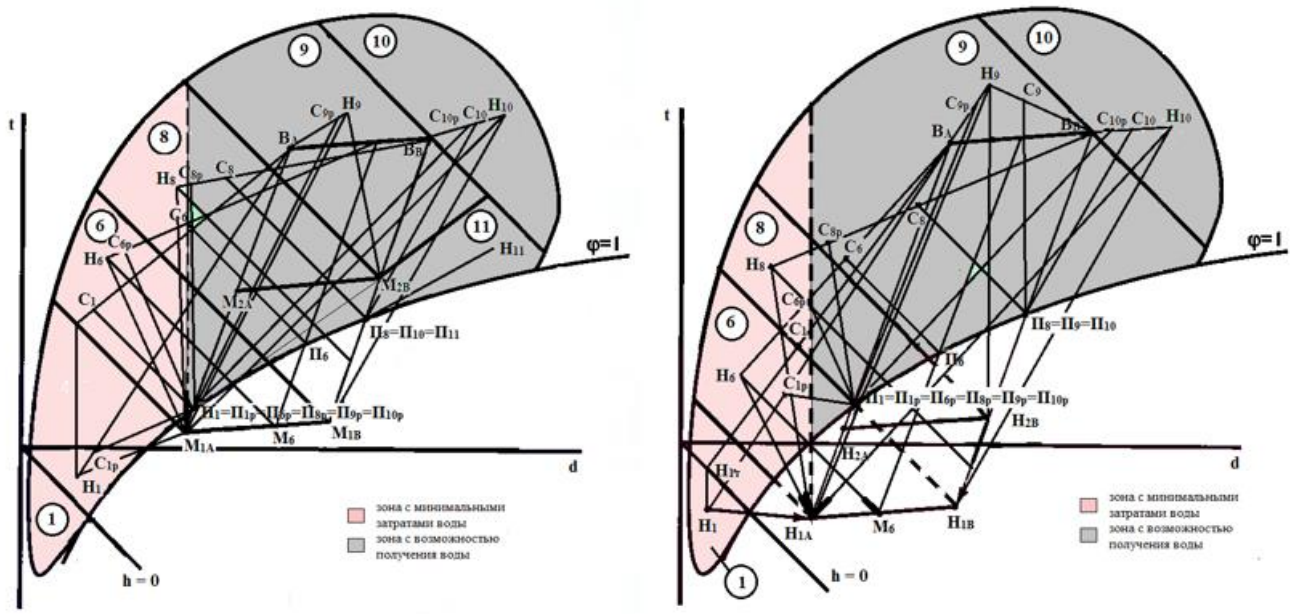

***Рисунок 6** – Обґрунтування використання РН для обробки зовнішнього повітря: ліворуч – другий клас навантажень, праворуч – третій*

Для кожної зони зовнішнього клімату був проведений порівняльний аналіз вихідної ТДМ СКП з умовами виконання ранжувань РА-2 і РА-3, за мінімізацією $G_п$ і $G_ж$, відповідно. При цьому весь зовнішній клімат умовно розподілений на дві зони: в першій витрата води зведена до мінімуму, у другій можливе отримання додаткової кількості вологи із атмосферного повітря.

Визначені границі зон:

$$\overline{\Delta} d = d_н - d_в + \frac{Q_п}{\varepsilon \cdot G_н}, \qquad (1)$$

при $\Delta d < 0$ – витрата $G_ж$ мінімізована, при $\Delta d > 0$ – отримаємо кількість $G_ж$ із атмосферного повітря.

Для приміщень (машинне відділення, котельня), а також об’єктів, що характеризуються значними тепловими навантаженнями, обробка зовнішнього повітря для всього річного циклу роботи СКП може забезпечуватися зволожувачами з РН, як універсальним контактним пристроєм.

3. Висновки

Лише центральні системи кондиціювання повітря (ЦСКП) здатні повноцінно відповідати вимогам одночасного підтримання заданої температури та вологості в приміщеннях. Використання окремих локальних зволожувачів призводить до додаткових матеріальних витрат та створює серйозну

загрозу біологічного зараження.

Застосування касетних зволожувачів із сучасних синтетичних матеріалів є більш ефективним порівняно з традиційними форсунковими камерами. Завдяки здатності матеріалів утримувати плівку води на поверхні після зупинки водяного насоса, стає можливим суттєво зменшити час його роботи й досягти економії електроенергії.

Експериментально доведено, що збільшення швидкості повітряного потоку та його масової витрати в живому перетині насадки прискорює зниження товщини водяної плівки та її температури до моменту повного випаровування води, після чого виникає необхідність повторного ввімкнення насоса.

Існує пряма залежність між геометричною компактністю пристрою та його гідравлічними характеристиками: чим більша питома площа поверхні регулярної насадки в одному кубічному метрі ($f_{к.п}$), тим вищим є її аеродинамічний опір (ΔP), що збільшує навантаження на вентилятор кондиціонера.

Серед досліджених зразків найвищу здатність до утримання водяної плівки на поверхні при різних швидкостях повітря продемонструвала регулярна насадка РН I (на основі базальтового волокна «Мінпласт»), тоді як найменшу – РН VI (на основі ПВХ).

На основі проведеного комплексного аналізу, який враховує теплові навантаження приміщень за методикою проф. А.А. Римкевича та метод оптимальних режимів, найбільш збалансованими за своїми експлуатаційними властивостями для річного циклу роботи СКП визначено регулярні насадки, виготовлені з листів ПЕТ та мінпласту.

Особистий внесок авторів CRediT

Подмазко О.С.: дослідження; збирання та оброблення даних; написання початкового варіанту рукопису; верифікація результатів. **Піщанська Н.О.:** методологія, аналіз та узагальнення даних; аналіз отриманих експериментальних даних. **Подмазко І.О.:** інформаційний пошук; візуалізація; рецензування та редагування; написання кінцевого варіанту рукопису.

Література

1. **Піщанська Н.О.** Удосконалення поперечно точних апаратів зволоження повітря на основі насадок упорядкованої структури. – Афтореферат кандидатської дисертації. - Одеса, 2015. – 22с.
2. **Подмазко О.С., Піщанська Н.О.** Штучний холод в енергетичних системах з відновлюваними джерелами енергії: навчальний посібник. – Одеса, ОНТУ, 2023. – 184 с.
3. **Піщанська Н.О, Подмазко О.С., Подмазко І.О.** Проєктування енергоефективних систем кондиціювання повітря: монографія. – Одеса, ОНТУ, 2025. – 255 с.
4. **Подмазко О.С., Піщанська Н.О.** Холодильні установки спеціального призначення. – Одеса, ОНТУ, 2023. – 99 с.

Отримана в редакції 25.02.2026, прийнята до друку 03.03.2026

Maintaining operating parameters in rooms using air conditioning systems

Olexandr Podmazko[1]✉, Nonna Pishchanska[2], Igor Podmazko[3]
[1]Odesa National University of Technology, 112 Kanatna str., Odesa, 65039, Ukraine;
[2-3]Engineering and Technological Institute «Biotekhnika» of NAAS, 26 Mayakska Road, Khlibodarske, 67667, Ukraine
✉ e-mail: [1]apodmazko@ukr.net
ORCID: [1]https://orcid.org/0000-0002-0935-2761; [2]https://orcid.org/0000-0002-5337-4538;
[3]https://orcid.org/0009-0002-9804-7116

The article is devoted to the urgent problem of increasing the energy efficiency and environmental safety of contact devices of air conditioning systems (ACS) by using regular nozzles (RN) made of modern synthetic materials. The paper analyzes the shortcomings of existing local humidification devices (economic costs, risk of lung disease) and traditional nozzle chambers of central air conditioning systems (CACS), which require constant pump operation. As an alternative, the use of film cassette humidifiers is considered, which allow reducing the operating time of the water pump by retaining moisture on the surface of the material. Comparative experimental studies of six types of regular nozzles (RN I–VI) made on the ba-

sis of cellulose fibers (GLASdek 3), polyethylene terephthalate (PET), polyvinyl chloride (PVC) and basalt fiber (Minplast) were conducted. Their key geometric and thermohydraulic characteristics were evaluated: specific surface area per cubic meter (fk.p), aerodynamic resistance (ΔP) depending on the air flow rate, as well as the duration of water film retention after the pump is turned off. The dynamics of water film temperature changes and the distribution of specific water flow rate along the length of the nozzle were studied. Taking into account the classification of Prof. A.A. Rymkevych by thermal loads (from I to IV classes) and the method of optimal modes, the use of RN for outdoor air treatment throughout the entire annual cycle in rooms with significant heat emissions, in particular in engine rooms and boiler rooms, was justified. Based on the experimental data obtained, practical recommendations were formulated: it was determined that nozzles made of PET and minplast are the most optimal in terms of their operational and design characteristics for implementation in humidification sections of the central air conditioning system.

Keywords: *Central air conditioning systems; Regular nozzle; Air humidification; Energy efficiency; Thermal load; PET; Minplast*

References

1. **Pishchanska, N.O.** (2015) Improvement of transversely accurate air humidification devices based on nozzles of ordered structure. *Abstract of the candidate's thesis, Odesa, 22.*

2. **Podmazko, O.S., Pishchanska, N.O.** (2023) Artificial cold in energy systems with renewable energy sources: a textbook. *Odesa, ONTU, 184.*

3. **Pishchanska, N.O., Podmazko, O.S., Podmazko, I.O.** (2025) Design of energy-efficient air conditioning systems: a monograph. *Odesa, ONTU, 255.*

4. **Podmazko, O.S., Pishchanska, N.O.** (2023) Special-purpose refrigeration units. *Odesa, ONTU, 99.*

Received 25 February 2026
Approved 03 March 2026
Available in Internet 31 March 2026