

## РОЗДІЛ ІV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 532.783:378.147.091.33-027.22(0,75.8)

*Микола Мошель, Микола Гриценко, Олександр Рогоза, Анатолій Ковтун,  
Тетяна Тепла*

### ПРАКТИКУМ З ФІЗИКИ РІДКИХ КРИСТАЛІВ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ СТУДЕНТІВ ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

*Николай Мошель, Николай Гриценко, Александр Рогоза, Анатолий Ковтун,  
Татьяна Теплая*

### ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

*Mykola Moshel, Mykola Hrytsenko, Oleksandr Rohoza, Anatolii Kovtun, Tetiana Tepla*

### WORKSHOP ON PHYSICS OF LIQUID CRYSTALS IN THE PROCESS OF LEARNING OF STUDENTS OF ENGINEERING SPECIALTIES

Запропоновано лабораторний практикум з фізики рідких кристалів [1], роботи з якого пропонується включати до списку виконуваних робіт як у курсі фізики, так і під час вивчення спеціальних дисциплін, наприклад, «Засоби візуалізації вимірювальної інформації», «Матеріали електронної техніки» та інших, що вивчають студенти, які навчаються за спеціальностями «Електронні системи», «Радіоелектронні апарати», «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології», «Електронні пристрої та системи». У лабораторному практикумі представлено 10 лабораторних робіт з фізики рідких кристалів. Вивчення фізики рідких кристалів та їх застосування суттєво підвищить фахову підготовку студентів і магістрантів, які вивчають інформаційні технології, займаються розробкою сучасних пристроїв відображення інформації на дисплеях на основі рідких кристалів. Звернено увагу на застосування рідких кристалів як первинних перетворювачів для сенсорів у рідкокристалічній електроніці.

**Ключові слова:** нематичні рідкі кристали, смектичні рідкі кристали, холестеричні рідкі кристали, електрооптичні ефекти, ефекти у рідких кристалах.

Рис.: 4. Бібл.: 5.

Предложено лабораторный практикум по физике жидких кристаллов [1], работы из которого предлагается включать в список выполняемых работ как в курсе физики, так и при изучении специальных дисциплин, например, «Средства визуализации измерительной информации», «Материалы электронной техники» и других, которые изучают студенты, обучающиеся по специальностям «Электронные системы», «Радиоэлектронные аппараты», «Метрология и информационно-измерительные технологии», «Электронные устройства и системы». В лабораторном практикуме представлены 10 лабораторных работ по физике жидких кристаллов. Изучение физики жидких кристаллов и их применение существенно повысит профессиональную подготовку студентов и магистрантов, изучающих информационные технологии, занимающихся разработкой современных устройств отображения информации на дисплеях на основе жидких кристаллов. Обращено внимание на применение жидких кристаллов в качестве первичного преобразователя для сенсоров в жидкокристаллической электронике.

**Ключевые слова:** нематические жидкие кристаллы, смектические жидкие кристаллы, холестерические жидкие кристаллы, электрооптические эффекты, эффекты в жидких кристаллах.

Рис.: 4. Библ.: 5.

The proposed laboratory workshop on physics of liquid crystals [1], the laboratory works of which are to be included to the list of works carried out both in the course of physics and in mastering special subjects, like "Visualization ways of data measurement," "Materials of electronics" and others that are studied by the students in the following specialties "Electronic systems", "Radio electronic devices", "Metrology and information-measuring technologies", "Electronic devices and systems". The laboratory workshop contains 10 laboratory works on physics of liquid crystals. Physics of liquid crystals studying and their application will significantly improve the professional training of students and undergraduates who master the information technologies and create modern information display devices based on liquid crystals. Attention is drawn to the liquid crystals usage as a primary transducer for sensors and in liquid-crystalline electronics.

**Key words:** nematic liquid crystals, smectic liquid crystals, cholesteric liquid crystals, electrooptical effects in liquid crystals.

Fig.: 4. Bibl.: 5.

**Постановка проблеми.** Необхідно впроваджувати у навчальний процес вивчення фізики рідких кристалів як сучасних матеріалів і для засобів відображення інформації як датчиків, реєстраторів хімічних речовин тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У лабораторному практикумі [1] представлено 10 лабораторних робіт з фізики рідких кристалів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Вивчення фізики рідких кристалів та їх застосування суттєво підвищить фахову підготовку студентів і магістрантів, які вивчають інформаційні технології, займаються розробкою сучасних пристроїв відображення інформації.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є звернення уваги на актуальність вивчення фізики рідких кристалів, що знаходять широке застосування в науці і техніці, та впровадження в навчальний процес студентів і магістрантів інформаційних технологій виконання відповідного лабораторного практикуму.

**Виклад основного матеріалу.** Одним із шляхів подальшого вдосконалення викладання фізики та дисциплін спеціальної підготовки є поглиблення зв'язків освіти з наукою. Значним досягненням останніх десятиліть є застосування рідких кристалів у сучасних оптичних технологіях. Рідкі кристали мають незвичайні, унікальні властивості порівняно з традиційними оптичними матеріалами, що дає можливість плавно керувати оптичними характеристиками: світлопропусканням, світлорозсіюванням, поляризацією, заломленням, відбиванням, світла, кольоровими параметрами. Це керування можна здійснювати різними сигналами: електричними, світловими, механічними, тепловими, магнітними, хімічним впливом. Рідкі кристали використовуються в оптичних елементах, що складають нову елементну базу, в оптичних системах з новими функціональними можливостями.

Успіхи у дослідженнях рідких кристалів та досягнення у чисельних застосуваннях (дисплеї комп'ютерів і ноутбуків, екрани плоских телевізорів і мобільних телефонів та ін.) зробили їх цікавими об'єктами під час вивчення у вищій школі [2].

Тому нами розроблений лабораторний практикум з фізики рідких кристалів, роботи якого ми включаємо до списку виконуваних робіт як у курсі фізики, так і під час вивчення спеціальних дисциплін, наприклад, «Засоби візуалізації вимірювальної інформації», «Матеріали електронної техніки» та інших, що вивчають студенти, які навчаються за спеціальностями «Електронні системи», «Радіоелектронні апарати», «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології», «Електронні пристрої та системи».

У лабораторному практикумі [1] представлено 10 лабораторних робіт з фізики рідких кристалів, у яких описано рідкокристалічний стан речовини, електрооптичні ефекти в рідких кристалах. Звертається увага на застосування рідких кристалів у дисплеях як первинних перетворювачів для сенсорів у рідкокристалічній електроніці [3].

У першій лабораторній роботі вивчаються текстури рідких кристалів методом поляризаційної мікроскопії за допомогою електрооптичної комірки типу сендвіч (рис. 1).

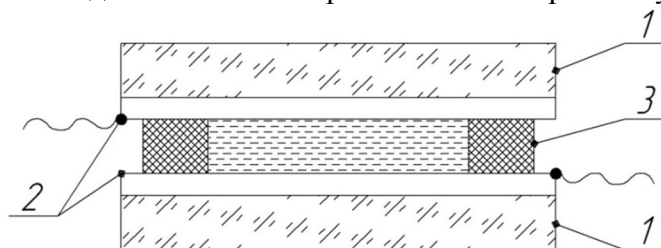


Рис. 1. Конфігурація електрооптичної комірки типу сендвіч: 1 – скляні підкладки з напиленими прозорими електродами; 2  $\text{SnO}_2$  чи  $\text{In}_2\text{O}_3$ ; 3 – діелектричні прокладки

У другій лабораторній роботі студенти навчаються за текстурою визначати агрегатні стани речовини, що має мезофазу і, нагріваючи та охолоджуючи зразки з рідкими кристалами, спостерігають фазові перетворення. Першим зразком у лабораторній роботі є нематичний рідкий кристал 4-п-пентил-ціанобіфеніл (5ЦБ) з температурним інтервалом мезофазы 22...35 °С, він є досить стабільною сполукою і використовується в технології рідкокристалічних дисплеїв. Другим зразком у цій лабораторній роботі є нематичний рідкий кристал п-метоксибензиліден, п-бутиланілін (МББА), що має тем-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

пературний інтервал існування мезофази 21...47 °С. Третій зразок – це холестериновий ефір пеларгонової кислоти – холестерилпеларгонат, що перебуває у мезофазному стані в температурному інтервалі 78...91 °С. Ця речовина має холестеричну та монотропну смектичну – А фазу.

У четвертому зразку досліджується сполука з серії похідних фенолбензоату . Вона утворює монотропну смектичну С фазу, тобто під час нагрівання плавиться в нематик при 51 °С, далі перетворюється в ізотропну рідину при 89 °С, потім при повільному охолодженні переходить в смектик С та кристалізується при 34 °С.

У третій та четвертій лабораторних роботах вивчаються польові орієнтаційні електрооптичні ефекти: S-ефект та В-ефект.

Під час виконання цих робіт студенти знайомляться із закономірностями перебігу S-ефекту та В-ефекту відповідно за спостереженням подвійного променезаломлення, виконують розрахунки модуля пружності для деформації поперечного вигину, електричної когерентної довжини для S-ефекту.

Для В-ефекту одержують експериментальним шляхом його порогову напругу і порівнюють її з теоретично розрахованим значенням.

П’ята робота присвячена вивченню електрооптичних ефектів, що виникають у нематичних рідких кристалах з  $\Delta\epsilon < 0$  під впливом електричного струму провідності. Під час її виконання студенти визначають критичну частоту, що відділяє аномальну орієнтацію молекул від нормальної в змінному електричному полі, спостерігають явище динамічного розсіяння світла та визначають напругу за якої воно виникає.

У шостій роботі вивчається процес переходу холестеричної фази в нематичну під дією зовнішнього електричного поля. Під час її виконання студенти спостерігають двовимірну просторово-періодичну деформацію (сітка), одержують текстуру «відбитків пальців» та визначають порогову напругу, за якої з’являється ця текстура. Потім, поступово збільшуючи напругу, спостерігають холестерико-нематичний перехід та визначають його порогову напругу  $U_{хнп}$ . (рис. 2).

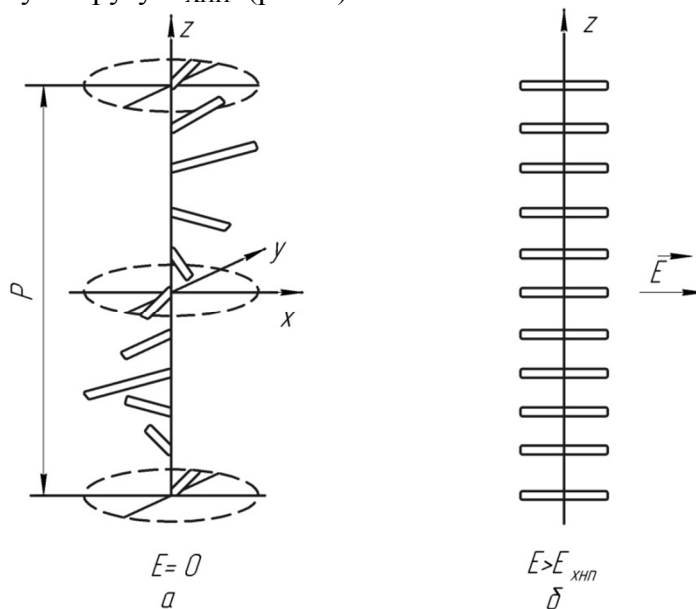


Рис. 2. Розкручування холестеричної спіралі зовнішнім електричним полем, перпендикулярним до осі спіралі.  $E$  – напруженість зовнішнього електричного поля: а – перед розкруткою спіралі; б – напруженість зовнішнього електричного поля достатня для холестерико-нематичного переходу

У сьомій роботі студенти знайомляться з процесом переносу носіїв заряду в рідких кристалах і визначають температурний інтервал існування мезофази. Визначають величину енергії активації  $\Delta E$  електропровідності у мезофазі в електрон-вольтах.

У восьмій роботі йдеться про особливості пропускання та відбивання світла холестеричними рідкими кристалами, визначається довжина хвилі селективно відбитого світла й крок спіралі холестеричного рідкого кристалу.

Оптичні властивості холестериків мають особливості, що є наслідком наявності спіральної структури. Вони оптично одновісні, мають від'ємну оптичну анізотропію, велику оптичну активність і селективне відбивання світла [2; 3].

Виникнення зафарбованості шару ХРК під час його освітлення білим світлом можна пояснити, якщо представити його як дифракційну ґратку з системою паралельних шарів товщиною  $\frac{p}{2}$  і середнім показником заломлення  $n$ .

Оскільки величина кроку спіралі для ефірів холестерину знаходиться в діапазоні довжин хвиль видимого світла, то падаючі на зразок промені дифрагують на періодичній структурі холестерика. При цьому умови дифракції подібні до умов дифракції рентгенівських променів у твердих кристалах, що визначаються співвідношенням Вульфа-Брегга. Для холестерика це співвідношення матиме вигляд:

$$2d \sin \theta = m\lambda. \quad (1)$$

Під час нормального падіння світла шар холестерика селективно відбиває світло з довжиною хвилі, що рівна кроку спіралі. Синтезовано багато холестеричних рідких кристалів з кроком  $p \approx 400 - 1000$  нм. Для них  $\lambda_0$  лежить у видимій області.

Селективне відбивання в області  $\lambda_0$  означає, що освітлена білим світлом плоска структура ХРК буде зафарбована у колір, відповідний  $\lambda_0$ .

Зміна кроку спіралі (чи кольору) є основою для застосування холестериків. У більшості ефірів холестерину крок спіралі зменшується із температурою ( $\frac{dp}{dt} < 0$ ), але в нематохонстеричних сумішах можна одержати всі три типи залежності  $p(t)$ :

$$\frac{dp}{dt} > 0; \frac{dp}{dt} < 0; \frac{dp}{dt} = 0.$$

Дев'ята робота присвячена вивченню явища інтерференції поляризованих променів у керованих електричним полем комірках з нематичним рідким кристалом. Відомо, що промені, поляризовані в двох взаємно перпендикулярних площинах, не інтерферують. Але, якщо звести ці ортогональні коливання в одну площину і створити деяку різницю фаз між ними, то можна спостерігати особливі властивості інтерференційних смуг. У цій роботі студенти спостерігають кольорову інтерференційну картину незвичайного і звичайного променів, вивчають залежність пропускну здатності комірки з поляризаторами від довжини хвилі і від кута повороту аналізатора або комірки.

У десятій роботі студенти визначають коефіцієнти в'язкості рідких кристалів методом Стокса.

Лабораторні роботи відрізняються простотою виконання і не потребують складного обладнання. Вони дозволяють студентам не тільки зрозуміти специфічні для фізики рідких кристалів поняття, такі як орієнтаційний порядок, директор, нематики, смектики, холестерики, термотропні та ліотропні рідкі кристали, планарна та гомеотропна орієнтація, мезофаза, переходи Фредерікса та інші, але й більш глибоко осягнути такі загальнофізичні поняття, як в'язкість, закон Ньютона, закон Стокса, подвійне променезаломлення, оптична анізотропія, пропускна здатність, довжина оптичної когерентності, поляризація світла, інтерференція поляризованих променів, фазові переходи I та II роду, розсіяння світла, дифракція Вульфа-Брегга, електропровідність, енергія активації та інші.

У практикумі описані прилади та пристрої, що використовуються у роботах: поляризаційний мікроскоп, підсилювач постійного струму, цифровий вольтметр, диференціальна термопара та інше.

Як одне з практичних застосувань рідких кристалів розглянуті конструкції рідкокристалічних дисплеїв: плоских, гнучких (рис. 3), кольорових та інших.

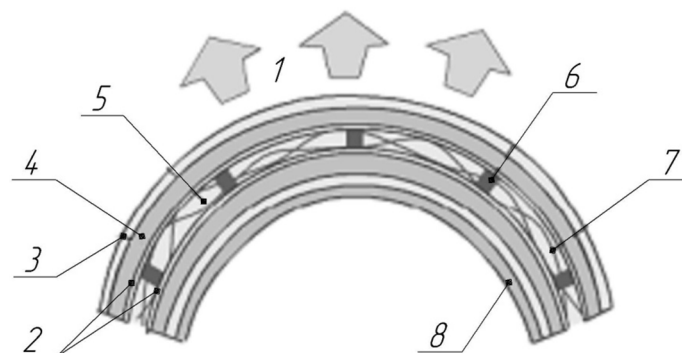


Рис. 3. Переріз дисплея на гнучкій підкладці [4]: 1 – світло; 2 – прозорий електрод; 3 – поляризаційна плівка; 4 – полімерна підкладка; 5 – шар рідкого кристала; 6 – прокладка; 7 – полімерне волокно; 8 – гнучке джерело підсвітки

Вказано на перевагу РК-дисплеїв над іншими пристроями відображення інформації [3]:

- високий контраст, що дозволяє сприймати відображувану інформацію у широкому діапазоні освітленості і кутів огляду;
- широкий діапазон відображуваних кольорових параметрів і рівнів сірого, що дозволяє одержувати зображення, максимально відповідні візуальним даним;
- широкий діапазон розмірів екранів;
- низьке споживання енергії;
- довговічність та низька вартість.

Для засобів відображення інформації колективного користування електрооптичні ефекти в рідкокристалічних матеріалах виявляються найзручнішими та найвигіднішими в ергономічному, технологічному, економічному планах, оскільки дають змогу реалізувати принципово нові засоби відображення інформації, що займають особливе, самостійне місце у дисплейній техніці. Для одержання багатоколірного дисплея використовують трихолестеричні рідкі кристали з різними кроками, що забезпечує одержання червоного, зеленого і синього кольорів.

Важливими є малогабаритні високоінформативні екрани з власною пам'яттю, реалізовані на електрооптичних ефектах у індукованих холестерико-нематичних рідкокристалічних сумішах.

Ефект селективного відбивання світла широко використовується в термоіндикаторах на чистих холестеричних рідких кристалах.

При цьому зміна кроку спіралі холестеричного рідкого кристала від температури приводить до зміни спектрального складу відбитого світла і, як наслідок, дає можливість визначити температуру за кольорним складом відбитого світла. Але ця обставина унеможливує використання чистих холестеричних рідких кристалів як електрооптичного матеріалу для сучасних засобів відображення інформації, що стабільно працюють у широкому температурному інтервалі.

Тому у засобах відображення інформації використовують холестерико-нематичні рідкокристалічні суміші, в яких стабільна довжина хвилі селективного відбивання світла у широкому температурному діапазоні, та можна реалізувати холестерико-нематичний фазовий перехід під дією електричного поля.

У військовому застосуванні новим є створення панорамних дисплейних панелей, що розміщуються на шоломах (рис. 4) чи над головою; командних систем у вигляді інформаційних панелей. Дисплеї на основі РК витримують більш жорсткі умови військового застосування, включаючи кліматичні і механічні впливи.



Рис. 4. Нашоломний дисплей [5]

Рідкі кристали мають винятково високу чутливість до зміни впорядкованості під дією зовнішніх чинників, що через велику оптичну анізотропію середовища легко реєструється оптично. Тонкі плівки рідких кристалів добре поглинають гази із оточуючого середовища і, як наслідок, змінюються оптичні властивості плівок, перш за все – селективне відбивання, що можна використовувати для виявлення забруднення повітря [3].

У практикумі розглядаються ліотропні і полімерні рідкі кристали.

Кожна робота практикуму містить завдання до роботи, контрольні питання для визначення ступеня готовності студента до виконання роботи та її захисту.

Вивчення фізики рідких кристалів та їх застосування суттєво підвищить фахову підготовку студентів і магістрантів, які вивчають інформаційні технології, займаються розробкою сучасних пристроїв відображення інформації.

Усі лабораторні роботи допомагають студентам глибше осягнути основні фізичні закономірності та набуті елементарних навичок проведення експерименту. Вони можуть успішно використовуватися у спеціальному практикумі «Фізика рідких кристалів» на старших курсах університетів. Окремі роботи також можуть бути використані в курсі загальної фізики вищої школи. Найбільш вдалим для цього є саме розділи «Термодинаміка та молекулярна фізика», «Електрика» й «Оптика».

**Висновки і пропозиції.** У публікації надано загальні відомості про рідкі кристали, розвиток дисплейних технологій, описано широкі можливості їх використання в електроніці.

#### Список використаних джерел

1. *Лабораторний практикум з фізики рідких кристалів* / М. І. Гриценко, О. В. Мельничук, М. В. Мошель, О. М. Пустовий, О. В. Рогоза. – Ніжин : Видавництво НДУ ім. М. Гоголя, 2013. – 141 с.
2. *Гриценко М. І. Фізика рідких кристалів : навч. посібник* / М. І. Гриценко. – К. : Академія, 2012. – 272 с.
3. *Рідкокристалічна електроніка : монографія* / за ред. проф. З. Готри. – Львів : Априорі, 2010. – 532 с.
4. *Томилин М. Г. Дисплеи на жидких кристаллах* / М. Г. Томилин, Г. Е. Невская. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2010. – 108 с.
5. *Flightgear On-Line, the website for the collector of military flightgear. Helmet Sight Battle* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.flightgear.dk/helmetsight.htm>.

**Мошель Микола Васильович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних і комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Мошель Николай Васильевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Moshel Mykola** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Information and Computer Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** mikorajj@mail.ru

**Гриценко Микола Іванович** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізики та астрономії, Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г. Шевченка (вул. Гетьмана Полуботка, 53, м. Чернігів, 14013, Україна).

**Гриценко Николай Иванович** – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики и астрономии, Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко (ул. Гетьмана Полуботка, 53, г. Чернигов, 14013, Украина).

**Hrytsenko Mykola** – Doctor of Physical and Mathematics Sciences, Professor, Professor of Physics and Astronomy, Chernihiv National Pedagogical University named after T. Shevchenko (53 Hetman Polubotka Str., 14013 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** H.grit@yandex.ua

**Рогоза Олександр Володимирович** – кандидат фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Рогоза Александр Владимирович** – кандидат физико-математических наук, профессор, профессор кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Rohoza Oleksandr** – PhD in Physical and Mathematics Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Measuring Technologies, Metrology and Physics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** AVRogoz1010@gmail.com

**Ковтун Анатолій Олексійович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Ковтун Анатолий Алексеевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kovtun Anatolii** – PhD in Physical and Mathematics Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Measuring Technologies, Metrology and Physics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** Kovtun38@mail.ru

**Тепла Тетяна Мирославівна** – асистент, асистент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Теплая Татьяна Мирославовна** – ассистент, ассистент кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Tepla Tetiana** – assistant, assistant of the Department of Information and Measuring Technologies, Metrology and Physics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** tanikoch@gmail.com

УДК 004.658

*Вадим Мухин, Ярослав Корнага*

## **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ЗАПИТІВ СЕРВЕРАМИ ГЕТЕРОГЕННИХ РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗ ДАНИХ**

*Вадим Мухин, Ярослав Корнага*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ЗАПРОСОВ СЕРВЕРАМИ ГЕТЕРОГЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ**

*Vadym Mukhin, Yaroslav Kornaha*

## **EFFICIENCY ANALYSIS OF REQUESTS' PROCESSING BY THE SERVER IN THE HETEROGENEOUS DISTRIBUTED DATABASES**

*Розподілені бази даних використовуються в різних сферах діяльності: освітній, промисловій, транспортній, бізнесовій, управлінській. Зокрема, такі бази даних широко застосовуються в закладах освіти для автоматизації навчального процесу та прискорення оброблення даних. Важливим елементом визначення швидкості роботи є середній час оброблення запитів у базах даних. На час оброблення впливає багато факторів, які пов'язані з обробленням даних на сервері та передачею по комп'ютерній мережі. На оброблення запитів на серверах баз даних витрачається значно*