

## НАНОТЕХНОЛОГІЇ В ЕЛЕКТРОНІЦІ: ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Л.Б. Куліненко, Н.Б. Тірон-Воробйова

*Розглянуто питання оцінки рівня нанотехнологій сучасності. Наведено історію нанотехнологій (у тому числі в харчовій індустрії), позитивні та негативні сторони. Проаналізовано питання перспектив розвитку нанотехнологій, зокрема в електроніці. «Нанотехнічною революцією рухає погоня за прибутком – не потреба у розвитку людства... доки докорінними проблемами є убогість і соціальна несправедливість, нові технології ніколи не будуть універсальним їх вирішенням», – стверджується у звіті Vital Signs. Щоб досягти якомога кращих та корисніших результатів необхідна міжнародна координація: варто знайти найвигідніші способи узгодження наукових досліджень, розділяючи витрати й обмінюючись інформацією між країнами та між економічними регіонами.*

**Ключові слова:** *нано, нанотехнології, нанотехнології сучасності, електроніка, харчова індустрія.*

## НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОНИКЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Л.Б. Кулиненко, Н.Б. Тирон-Воробьева

*Рассмотрен вопрос оценки уровня нанотехнологий современности. Представлена история развития нанотехнологий (в том числе в пищевой индустрии), положительные и отрицательные стороны. Проанализированы вопросы перспектив развития нанотехнологий, в частности, в электронике. «Нанотехнической революцией движет погоня за прибылью – не потребность в развитии человечества ... пока коренными проблемами являются нищета и социальная несправедливость, новые технологии никогда не будут универсальным их решением», – утверждает в отчете Vital Signs. Поэтому для достижения более лучших и полезных результатов необходима выходящая международная координация: стоит найти самые прибыльные способы согласования научных исследований, разделяя затраты и обмениваясь информацией между странами и экономическими регионами.*

**Ключевые слова:** *нано, нанотехнологии, нанотехнологии современности, электроника, пищевая индустрия.*

## NANOTECHNOLOGIES IN ELECTRONICS: PROSPECTS OF DEVELOPMENT

**L. Kulinenko, N. Tiron-Vorobyova**

*Considered issue of the level of the nanotechnology of today. Presented a shot characteristic of the history of the development of nanotechnology; positive and negative sides. We discuss issues of nanotechnology development today, especially in electronics. According to experts, nanotechnology will be the driving force behind the next industrial revolution and will change our way of life. Research and development of nanotechnology are on the rise in the pursuit of original and useful things, and at a time when the rise of factory production, very little is done to ameliorate the safety of society and the environment. Obviously, to achieve the best and most useful results, you need international coordination: it is necessary to find ways of harmonizing scientific research, sharing costs and exchanging information between countries and between economic regions.*

*Experts believe that nanotechnology will become the driving force of the next industrial revolution, and will change our way of life. Research and development of nanotechnology are in a state of recovery in the pursuit of original and useful things, and at the time when there is a rise of factory production, very little is done to guarantee the safety of the public and the environment.*

*Nanotechnology promises huge potential benefits in improving almost all industrial products, computers, cars, clothing, food, medicines, batteries and more. On the other hand, more and more question: are they safe? A growing number of research reports and the government warns that created nanoparticles may pose a risk to human health and the environment, held at a little research on their toxicity. Therefore, nanotechnology include a wide range of technologies to control the structure of matter at the level of atoms and molecules. Obviously, to achieve the best possible results, and useful international coordination is required: it is necessary to find ways to harmonize research, sharing costs and sharing of information between countries and between economic regions.*

**Keywords:** *nano, nanotechnology, nanotechnologies of today, electronics.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Нанотехнології – це технології, що оперують величинами порядку нанометра. Це мізерно мала величина, співмірна з розмірами атомів. На частку США нині припадає близько третини всіх світових інвестицій у нанотехнології. Інші провідні гравці на цьому полі – Європейський Союз (приблизно 15%) і Японія (20%). Дослідження в цій сфері активно ведуться також у країнах колишнього СРСР, Австралії, Канаді, Китаї, Південній Кореї, Ізраїлі, Сінгапурі і Тайвані. Якщо в 2000 році сумарні витрати країн світу на подібні дослідження становили близько 800 млн дол., то в 2001 році вони збільшилися

двічі. За прогнозами Національної Ініціативи в галузі нанотехнології США (National Nanotechnology Initiative), розвиток нанотехнологій через 10–15 років дозволить створити нову галузь економіки з обігом у 15 млрд дол. і близько 2 млн робочих місць.

Ряд нанотехнологій використовується на практиці – наприклад, під час виготовлення цифрових відеодисків (DVD). У галузі медицини можливе створення роботів-лікарів, здатних жити всередині людського організму, усуваючи всі виникаючі ушкодження або запобігаючи їх виникненню. Теоретично нанотехнології здатні забезпечити людині фізичне безсмертя за рахунок того, що наномедицина зможе нескінченно регенерувати клітини, що відмирають. За прогнозами журналу *Scientific American* вже в найближчому майбутньому з'являться медичні пристрої розміром із поштову марку. Їх досить буде накласти на рану, і цей пристрій самостійно проведе аналіз крові, визначить, які медикаменти необхідно використовувати і введе їх у кров [1].

Очікується, що вже 2025 року з'являться перші роботи, створені на основі нанотехнологій. Теоретично можливо, що вони зможуть конструювати з готових атомів будь-який предмет. Нанотехнології спроможні зробити революцію в сільському господарстві. Молекулярні роботи будуть здатні готувати їжу, замінивши сільськогосподарські рослини і тварин. Нанотехнології здатні також стабілізувати екологію планети. Нові види промисловості функціонуватимуть без відходів, що отруюють планету, а нанороботи зможуть знищувати наслідки старих забруднень. Неймовірні перспективи відкриваються також у галузі інформаційних технологій. Нанороботи здатні втілити в життя мрію фантастів про колонізацію інших планет – ці пристрої зможуть створити на них середовище, придатне для життя людини.

Нанотехнології можуть широко застосовуватися у військовій промисловості. Мілітарні дослідження у світі проводяться в шести основних сферах: технології створення і протидії «невидимості» (літаки-невидимки, створені на основі технології *stealth*), енергетичні ресурси, самовідновлюючі системи (вони, наприклад, дозволяють автоматично ремонтувати пошкоджену поверхню панцерника або літака), зв'язок, а також пристрої виявлення хімічних і біологічних забруднень.

Виробники вже одержують перші замовлення на нанопристрої. Військове відомство США замовило компанії *Friction Free Technologies* розробити армійську форму майбутнього. Компанія, приміром, повинна виготовити шкарпетки з використанням

нанотехнологій, які ліквідуватимуть запах поту, але зберігатимуть ноги в теплі, а шкарпетки в сухості. Щоправда невідомо, чи потрібно буде прати такі шкарпетки, пише Washington ProFile.

Особливі надії на нанотехнології покладають фахівці в області електроніки та інформаційних технологій. У 1965 році було можливим умістити на одному чипі лише 30 транзисторів. У 1971 році – 2 тис. На сьогодні один чіп містить близько 40 млн транзисторів розміром 130–180 нанометрів і з'явилися повідомлення, що вдалося створити транзистор розміром 90 нанометрів. Цей процес зробив складну електронну і комп'ютерну техніку доступними для більшості споживачів: у 1968 році один транзистор коштував у США 1 дол., нині за ці гроші можливо придбати 50 млн транзисторів.

У 1965 році Гордон Мур, фахівець у сфері фізичної хімії, зробив знамените, яке було названо «Закон Мура». Він проголосує, що число транзисторів на чіпі буде можливо подвоювати кожні 18 місяців. На протязі декількох десятиріч цей прогноз доводив свою точність. Нині виробники комп'ютерних чіпів зіштовхнулись із складностями мініатюризації: для підтвердження «Закону Мура» потрібно, щоб транзистор був розміром не більше 9 нанометрів. За прогнозом Міжнародного Консорціуму Напівпровідникових Компаній цей рівень розвитку технології буде досягнуто до 2016 року.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Консультативна Рада з проблем науки і технології при Президенті США (PRESIDENT'S Council of Advisors on Science and Technology) підготувала доповідь, у якій аналізується нинішній рівень розвитку нанотехнологій у США та в інших науково розвинених країнах і оцінюються перспективи подальшого прогресу в цій новітній сфері наукових досліджень та технологічних розробок. У доповіді підкреслюється, що на сьогодні США є світовим лідером у області нанотехнологій. На частку США доводиться 1,4 світових інвестицій у цю сферу і не менше половини статей з нанотехнологій, опублікованих в найавторитетніших професійних журналах. Америка також лідирує з кількості патентів, які отримуються за нанотехнологічні розробки. У цілому американські фахівці мають дві третини таких патентів, виданих за останні роки. У 2003 році учені і інженери із США одержали близько 1 тис. нанотехнологічних патентів (новіших свіжих даних поки що немає) [2].

Конкуренція у сфері нанотехнологій останніми роками загострилася і, безумовно, посилюватиметься і в осяжному майбутньому.

Країни ЄС, Японія і Китай щорічно виділяють на ці програми зі своїх бюджетів приблизно 900 млн дол., що ненабагато менше американських федеральних витрат. Для порівняння, за даними організації «Національна Ініціатива» в області нанотехнології США (NATIONAL Nanotechnology Initiative), в 2002 році витрати всіх держав світу на ці цілі не перевищували 2 млрд дол. Сумарний рівень інвестицій приватних корпорацій з інших країн на сьогодні вже дещо перевищує аналогічні витрати американських компаній. У грудні 2003 року Конгрес США прийняв закон «Нанотехнологічні Дослідження і Розробки 21 сторіччя» (21st Century Nanotechnology Research and Development Act), яким передбачалося збільшення асигнувань на подібні проекти.

У 2004 році з федерального бюджету США на розвиток нанотехнологій було виділено близько 1 млрд 240 млн дол. (для порівняння, в 2001 році – 464 млн дол.). Ці дослідження також активно фінансуються за рахунок бюджетів окремих штатів, які в цілому направили близько 400 млн. дол. Ще більше витрачає американський бізнес – близько 2 млрд дол. П'ята частина цієї суми доводиться на біотехнологічні фірми, стільки ж – на електронні, 18% – на хімічну промисловість, по 8% – на аерокосмічну індустрію і енергетику.

**Мета статті** – тематичний аналіз нанотехнологій сучасності, їх позитивні та негативні сторони.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо деякі позитивні і негативні сторони нанотехнологій. Позитивні сторони: фізики з університету штату Джорджія розробили нанодвигун, який працює на хімічному пальному. Хіміки з університету Единбурга створили ротаксан – молекулярну машину, яка дозволяє «обійти» другий закон термодинаміки. Спеціалісти з американської лабораторії Белла та з німецького інституту колоїдів Макса Планка розробили своєрідний «молекулярний м'яз». Новітні технології обіцяють подолати нові й поки що невиліковні хвороби. Передбачається, що наночастинки використовуватимуться для доставки до потрібних органів корисних речовин та ліків.

За оцінками експертів уже до 2010 року 50% медикаментів вироблятимуться за допомогою нанотехнологій.

Нестримно розвиваються наукові ідеї наноїжі. Нанотехнології надають харчовикам унікальні можливості з тотального моніторингу в реальному часі якості та безпеки продуктів.

Нанотехнології можуть завдати удару індустрії мийних засобів. Поява нових, стійких до забруднень та ушкоджень матеріалів зменшить потребу в них.

Нанотехнології дозволять наділити інтелектом найзвичніші предмети побуту. Люди носитимуть одяг, який змінює колір, обмінюватимуться візитівками з нанесеною на них відеорекламою, передаватимуть свої емоції за допомогою імплантатів, що відображають настрій.

Жінки милуватимуться собою у комп'ютеризованих дзеркалах, які коригуватимуть зображення до ідеального, а на своїх нігтях матимуть манікюр із запрограмованим кольором та візерунками.

Світ майбутнього буде різнобарвним, насиченим життям [3].

Він перейде на наступний рівень, де багато сучасних проблем будуть розв'язані.

Негативні сторони: 1987 року американський вчений Ерік Деркслер висунув теорію «сірого слизу». За його прогнозом у майбутньому з'являться нанороботи завбільшки з бактерією, здатні самостійно компонувати молекули за певними комбінаціями. Вихід таких систем з ладу – катастрофа. Самовідтворюючі роботи в разі програмного збою почнуть продукувати нові й нові організми, беручи за матеріал усю доступну біомасу. Унаслідок нанохаосу планету вкриє однорідний шар липких елементів.

Ще одна шокуюча оцінка перспектив нанотехнологій у тому, що використання нанороботів у медицині стане початком переходу людини з еволюційно-біологічної форми Homo Sapiens у технологічну істоту, що сама розвивається – Nano Sapiens. Розумне життя на Землі завершить свій еволюційний етап і надалі розвиватиметься в наноформі, за законами саморегуляції. Можливості нанороботів, а також недовершеність людського тіла приведуть до його радикальної перебудови. Nano Sapiens будуть набагато пристосованішими до життя. У них не буде статі, статевого розмноження, інстинктів. Їм не потрібні будуть сьогоднішні технічні пристосування – частина з них буде інтегрована в їхні організми. Спільне у Nano Sapiens і людини лише одне – здатність мислити. У перспективі «людство», що складається з індивідів Nano Sapiens, інтегруючись на інформаційному рівні, зіллється в єдину особистість – Megasapiens, «плоть» якої може бути загалом не визначена у просторі.

У той час як уряд і промисловість вкладають мільярди у те, щоб швидко наживати капітал на торговельному потенціалі нанотехнологій, виявляти й аналізувати потенційні загрози видається малоцікавим, тому дослідники не впевнені у, як безпечно працювати із новими наноречовинами, наноккомпаніям невідомо, як створювати безпечну продукцію, і суспільна довіра до цієї нової технології ризикує бути підірваною.

Наведемо зокрема декілька прикладів використання нанотехнологій в електроніці (у період 2001–2010 рр.):

1. Компанія IBM створила наноінвертор, який в разі розміщення нанотрубки між двома електродами підсилює електричний сигнал і здатен «перекидати» вихідну напругу на вхід. Подальший розвиток цієї ідеї може привести до виключно малих за розмірами обчислювальних і комунікаційних пристроїв, що споживають надзвичайно малу кількість енергії.

2. Групі вчених з лабораторії Белла компанії Lucent Technologies вдалося створити електричний ланцюг з транзисторів, які були одержані в результаті хімічного самозбирання органічних молекул.

3. Повідомляється також, що для вимірювання переміщень на рівні тисячних часток нанометра було розроблено одноелектронний транзистор – перемикаючий пристрій, здатний сполучати або роз'єднувати електричні ланцюги за рахунок управління рухом тільки одного електрона. В існуючих транзисторах таке перемикання відповідає управлінню сумісним рухом сотень тисяч електронів, тому перехід до одноелектронних перемикачів призведе до різкого зниження енергоспоживання і, відповідно, тепловиділення.

4. Головною метою розробників комп'ютерної техніки є збільшення кількості перемикачів на чіпі. Мініатюрні та надзвичайно складні системи зазнають багато дефектів у розташуванні окремих атомів і цілих груп атомів, які спроможні порушити функціонування електричного ланцюга. Для підвищення надійності електричних наносистем розробляються зовсім нові архітектури. Наприклад, створення решіток з перехресними рядами нанопроводів (товщиною всього 100 атомів) дозволяє утворити мережу молекулярних перемикачів у місцях перехрещення нанопроводів [4].

5. Вуглецеві нанотрубки мають багато переваг, зокрема більш швидкий рух носіїв заряду, ніж у кремнії; вони можуть мати розмір у 5 разів менше, ніж мінімальний розмір кремнієвих елементів електросхем. Але створення електричних ланцюгів на їх основі дуже ускладнено внаслідок розподілу одержаних нанотрубок у хаотичному порядку. Вчені з Університету Південної Каліфорнії підбрали підкладку для нанотрубок, на якій вони могли самостійно упорядковуватись (до 40 нано- трубок на мікрон). Ця технологія дозволяє створювати сучасну електроніку, чутливі сенсори тощо.

**Висновки.** На думку експертів нанотехнології стануть рушійною силою промислової революції і змінюватимуть наш спосіб життя. Дослідження та розробки нанотехнологій знаходяться у стані підйому у гонитві за оригінальними та корисними речами, і в той час,

коли відбувається зліт фабричного виробництва, зовсім мало робиться для того, щоб гарантувати безпеку суспільству та навколишньому середовищу.

За очікуваннями Національного наукового фонду США, за наступне десятиліття нанотехнології захоплять 1 трильйон дол. світового ринку.

Нанотехнології обіцяють величезні потенційні вигоди у поліпшенні майже всіх видів промислової продукції: комп'ютерів, автомобілів, одягу, продуктів харчування, медикаментів, батарейок і багато чого іншого. Але з іншого боку постає питання: чи є вони безпечними?

Зростаюча кількість наукових досліджень і звітів уряду застерігає, що створені наночастинки можуть становити небезпеку для здоров'я людей та навколишнього середовища, хоча було проведено ще небагато досліджень щодо їхньої токсичності. Отже, нанотехнології включають у себе широкий спектр технологій для контролю над структурою матерії на рівні атомів і молекул. Нанометр – це одна мільярдна метра, ширина 10 розмічених поруч атомів водню; товщина людської волосини дорівнює приблизно 80 тисячам нанометрів. Важко навіть уявити собі щось настільки мале, ще важче повірити, що це може використовуватися у виробничих процесах [5].

На такому мікроскопічному рівні матерія поводить себе не так, як у нашому повсякденному житті у цьому світі, де панує класична ньютонова фізика. У наносвіті «властивості матерії обумовлюються складним і багатим поєднанням класичної фізики та квантової механіки», – мовилося в ексклюзивному онлайн-випуску журналу *Scientific American* за січень 2006 р. Також у більших кількостях мініатюрні наноречовини можуть мати величезну потужність через їх значно більше відношення площі поверхні до об'єму. Зі зменшенням величини частинок і ростом їхньої реакційної здатності, речовина, котра може бути інертною у мікро- чи макромасштабі, здатна набувати небезпечних властивостей у наномасштабі [6–8].

Щодо соціальних та етичних проблем, то згідно з *Vital Signs* 2006–2007 серйозні побоювання не обмежуються питаннями безпеки й впливу на здоров'я: повинні бути вивчені й більш широкі соціальні й етичні наслідки. «Нанотехнічною революцією рухає погоня за прибутком – не потреба у розвитку людства... доки докорінними проблемами є убогість і соціальна несправедливість, нові технології ніколи не будуть універсальним їх вирішенням», – стверджується у звіті *Vital Signs*.



Очевидно, щоб досягти якомога кращих та корисніших результатів необхідна міжнародна координація: варто знайти способи узгодження наукових досліджень, розділяючи витрати й обмінюючись інформацією між країнами та між економічними регіонами [9].

### Список джерел інформації / References

1. Кизим М. О. Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в економіках країн світу та України : монографія / М. О. Кизим, І. Ю. Матюшенко. – Х. : ВД «ІНЖЕК», 2011. – 392 с.

Kizim, M.O., Matyuschenko, I.Yu. (2011). *Prospects for the development and commercialization of nanotechnology in the economies of the world and in Ukraine: monograph [Perspektuvu rozvuku i komerzializazii nanotehnologii v ekonomikach krain svitu ta Ukrainu: monografia]*, WD Inzgek, Kharkov, 392 p.

2. Рамбиди Н. Г. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры / Н. Г. Рамбиди. – М. : ФИЗМАТЛИТ. 2007. – 256 с.

Rambidi, N.G. (2007), [*Nanotechnology and molecular computers*] [*Nanotehnologii ta molekulyarni kompyuteru*], Fizmatlit, Moscow, 256 p.

3. Рынок нано: от нанотехнологий – к нанопродуктам / Г. Л. Азоев и др.; под. ред. Г. Л. Азоева. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний. 2011. – 319 с.

Azoev, G.L. (2011), *Market nano: from nanotechnology to nanoprodukt* [*Runok nano: vid nanotehnologii – do nanoproduktiv*], Binom, Moscow, 319 p.

4. Балабанов В. Нанотехнологии: правда и вымысел / В. Балабанов, И. Балабанов. – М. : Эксмо, 2010. – 384 с.

Balabanow, W., Balabanow I. (2010), *Nanotechnology: truth and fiction* [*Nanotehnologii: pravda i vymysel*], Eksmo, Moscow, 384 p.

5. Рахман Ф. От микроструктур к наноструктурам // Наноструктуры в электронике и фотонике. – М. : Техносфера. 2010. – 344 с.

Rachman, F. (2010), "From microstructures to nanostructures" ["От mikrostruktur k nanostrukturam"], *Nanostrukturu v elektronike i fotonike*, Technosfera, Moscow, 344 p.

6. Кейси П. Технологии наночастиц и их применение // Наноструктурные материалы / Под ред. Р. Ханнинка, А. Хилл. – М. : Техносфера, 2009. – 488 с.

Keisi, P. (2009), "From microstructures to nanostructures" ["От mikrostruktur k nanostrukturam"], *Nanostrukturnue materialu*, Technosfera, Moscow, 488 p.

7. Гордиенко Ю. Г. Как сорвать джекпот науки в XXI веке / Ю. Г. Гордиенко. – М. : Эксмо, 2007. – 496 с.

Gordienko, Yu. (2007), *How to win the jackpot prize of science in the twenty-first century* [*Kak sorvaty dgekpот nauki v XXI veke*], Eksmo, Moscow, 496 p.

8. Головин, Ю. И. Нанотехнологическая революция стартовала! [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http:// www.abitura.com/modern\\_physics/nano/nano2.html](http://www.abitura.com/modern_physics/nano/nano2.html)

Golovin, Yu.I. "The nanotechnology revolution has started!" ["Nanotechnologicheskaya revolyuziya startovala!"], available at: [http://www.abitura.com/modern\\_physics/nano/nano2.html](http://www.abitura.com/modern_physics/nano/nano2.html)

9. Джарветсон С. Коммерциализация нанотехнологии. Работает ли закон Мура в микро- и наноэлектронике? / С. Джарветсон // Л. Фостер Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. – М. : Техносфера, 2008. – 352 с.

Dgarvetson, S. (2008). "Commercialization of nanotechnology. Does Moore's law in micro- and nanoelectronics?" ["Kommerzializaziya nanotekhnologii. Rabotaet li zakon Mura v micro- i nanoelektronike?"], Foster, L., Technosfera, Moscow, 352 p.

**Куліненко Лілія Борисівна**, д-р філос. наук, доц., ст. викл., кафедра технологічної, професійної освіти та загальнотехнічних дисциплін, Ізмаїльський державний гуманітарний університет. Адреса: просп. Леніна, 9, м. Ізмаїл, Одеська обл., Україна. 68610. E-mail: [lilik45@mail.ru](mailto:lilik45@mail.ru).

**Кулиненко Лилия Борисовна**, д-р филос. наук доц. ст. преп., кафедра технологического, профессионального образования и общетехнических дисциплин, Измаильский государственный гуманитарный университет. Адрес: просп. Ленина, 9, г. Измаил, Одесская обл., Украина, 68610. E-mail: [lilik45@mail.ru](mailto:lilik45@mail.ru).

**Kulinenko Liliva**. Candidate of Sciences (compartable to the academic degree of Doctor of Phylosophy, PhD), Department of technological vocational education and technical disciplines, Izmail state humanitarian University. Address: av. Lenina, 9, Ismail, Ukraine, 68610. E-mail: [lilik45@mail.ru](mailto:lilik45@mail.ru).

**Тірон-Воробйова Наталія Борисівна**, канд. техн. наук, викл., кафедра технологічної, професійної освіти та загальнотехнічних дисциплін, Ізмаїльський державний гуманітарний університет. Адреса: просп. Леніна, 9, м. Ізмаїл, Одеська обл., Україна. 68610. E-mail: [natasha\\_vorobyova@list.ru](mailto:natasha_vorobyova@list.ru).

**Тирон-Воробьёва Наталия Борисовна**, канд. техн. наук, преп., кафедра технологического, профессионального образования и общетехнических дисциплин, Измаильский государственный гуманитарный университет. Адрес: просп. Ленина, 9, г. Измаил, Одесская обл., Украина, 68610. E-mail: [natasha\\_vorobyova@list.ru](mailto:natasha_vorobyova@list.ru).

**Tiron-Vorobyova Nataliya**, Candidate of Sciences, senior lecturer, Department of technological vocational education and technical disciplines, Izmail state humanitarian University. Address: av. Lenina, 9, Ismail, Ukraine, 68610. E-mail: [natasha\\_vorobyova@list.ru](mailto:natasha_vorobyova@list.ru).

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим  
Отримано 15.04.2017. ХДУХТ, Харків.*