

РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-220-228

УДК 628.16:004

**Жанна Замай¹, Світлана Боровик², Ігор Костенко³,
Геннадій Пасов⁴, Наталія Буяльська⁵, Сергій Цибуля⁶**

¹кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: zamaizhanna@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2879-4677>

²заступник директора ТОВ «Нептун» (Мена, Україна)
E-mail: neptun_ltd@ukr.net

³кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: atdrj@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1195-5163>

⁴кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: genapasov@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>

⁵кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: Buialska@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604>

⁶доктор технічних наук, професор кафедри харчових технологій
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: stcibula@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7843-6061>

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВОДОПІДГОТОВЦІ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ВИРОБНИЦТВА ПИТНОЇ ВОДИ «СІВЕРСЬКА»

У роботі вирішено проблему розрахунку іонного складу води після змішування на ТОВ «Нептун» (сmt Мена Чернігівської області). Для додаткової мінералізації очищеної води після другого ступеня системи очистки компанії ECOSOFT (зворотній осмос) пропонується змішування її з водою після першого ступеня очищення (іонообмінний). Для оперативного визначення концентрацій кожного іону в результуючій воді використовується електронний табличка Microsoft Office Excel. Для точного дозування води відповідно до обраного коефіцієнта змішування рекомендується цифровий датчик рівня води ECMS. Автоматизація дасть можливість виробляти продукцію різного складу залежно від замовлень споживачів.

Ключові слова: водопідготовка; показники і нормативи якості питної води; зворотний осмос; програма Excel; автоматизація.

Рис.: 4. Табл.: 3. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Однією з важливих невирішених соціальних проблем у світі є проблема низької якості питної води та її дефіциту. У серпні 2019 р. Інститут світових ресурсів (WRI) оприлюднив дослідження, що близько чверті населення світу стикається з нестачею питної води. Експерти прогнозують, що у 2030 році від нестачі прісної води страждатиме 47 %, а до 2050 – $\frac{2}{3}$ населення планети. За твердженнями ВООЗ, більш як 80 % захворювань пов'язані з якістю води, яку споживає людина.

Україна, незважаючи на велику кількість водних об'єктів (63 тис. річок, 40 тис. озер, 1100 водосховищ, 400 тис. ставків – 1 млн 100 тис. га прісних водойм), за останніми проведеними дослідженнями на замовлення Світового фінансового банку посідає за кількістю питної води на душу населення 125-е місце з 180 країн – на кожного мешканця припадає приблизно 1–1,2 тис. м³ води, придатної для споживання. У Швеції цей показник в 20 разів більший [1–3].

Якість води стоїть на першому місці для забезпечення здорового харчування. Особливе значення для здоров'я людини мають хімічний склад та ступінь мінералізації питної води [4].

Виробництво питної води вимагає суворого контролю на всіх етапах. Підвищення ефективності виробничого процесу, мінімізація ризиків виникнення помилок, причиною яких виступає людський фактор, багато в чому пов'язано з широким застосуванням сучасних інформаційних технологій на промислових підприємствах.

Постановка проблеми. Через недостатню якість питної води з водогонів населених пунктів України певну частину у споживанні води відіграють бутильовані столові та лікувально-столові мінеральні води. Взагалі, Україна посідає 4-е місце в Європі за обсягом розвіданих водних запасів – 2,4 млн/м³, а також входить до групи світових лідерів за запасами мінеральної води, її ресурси значно перевищують внутрішні потреби [5].

У Чернігівській області безперечним лідером із виготовлення мінеральних вод є ТОВ «Нептун», яке знаходиться у місті Мена Чернігівської області – екологічно чистому регіоні України. Продукцією є вода мінеральна газувана «Остреченська», вода солодка газувана (з різноманітними наповнювачами) та вода питна негазована «Сіверська». Ця вода відноситься до Дніпровського артезіанського басейну і є йодною, бромною та йодо-бромною мінеральною водою [6].

Однак очищення води на ТОВ «Нептун» за допомогою зворотного осмосу призводить до її демінералізації, що підвищує ризик розвитку захворювань, зумовлених дефіцитом мікро- та макроелементів [2–4]. Необхідним є пошук шляхів відновлення мінерального складу артезіанської води.

У системі зворотного осмосу може бути встановлений мінералізатор, який містить суміш природних мінералів, наприклад, кальцит. Однак насичення очищеної води корисними речовинами потребує часу та не завжди є економічно вигідним.

Тому одним зі шляхів вирішення проблеми демінералізації води та збільшення економічної ефективності водопідготовки є змішування води різного складу, для чого потрібен розрахунок концентрації кожного іону в одержаній воді.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Змішування води, що пройшла очищення методом зворотного осмосу, з водою, що пройшла механічне фільтрування, у співвідношенні близькому до 1:1, унаслідок чого значення загальної жорсткості, сухого залишку та Na⁺, SO₄²⁻, Cl⁻ доводяться до гігієнічних нормативів, застосовується на багатьох підприємствах, наприклад бюветних комплексах м. Одеси [7–9].

Для оперативного прогнозування концентрацій кожного іону при різних співвідношеннях води різного ступеня очищення доцільно використання ряду програм математичної обробки даних.

Автори [10] пропонують формування «Аналітичного листа», який містить інформацію про етапи вхідного контролю на виробництві. Документ заповнюється результатами показників, отриманими у ході контролю по кожному з видів аналізу та перевіряється начальником лабораторії.

Широко застосовується пакет STATISTICA. Statistica (StatSoft, Inc.), який має широкий спектр функціональних алгоритмів і розвинену графіку, а також відповідні засоби для редагування графічних матеріалів. MathCAD (Parametric Technology Corp.) – це потужний пакет для математичних розрахунків, розв'язання рівнянь, побудови графіків тощо. MATLAB (MathWorks, Inc.) – комп'ютерна оболонка для інтерактивних та командних обчислень і візуалізації. До більш спеціалізованих програмних пакетів відносяться: OriginPro (OriginLab Corp.). Це потужний пакет для аналізу результатів статистичних і наукових досліджень та вимірювань, надає засоби програмування та побудови графіків, діаграм, таблиць. За допомогою Origin можна проводити чисельний аналіз даних, включаючи різні статистичні операції, обробку сигналів тощо [11–13].

Початковим рівнем пакетів програм для статистичної обробки даних експериментів можуть бути, наприклад, MS Excel (Microsoft Corp.). Це найбільш поширений додаток з пакету офісних програм MS Office. MS Excel добре підходить для накопичення даних,

проміжного перетворення, попередніх статистичних обчислень, для побудови деяких видів діаграм. Макроси-доповнення для MS Excel, що включають додаткові статистичні функції, які в основних випадках є достатніми для звичайного застосування. засоби (Power Pivot, Power View), а також можна використовувати MS Access [14].

Раціональним є застосування автоматизованих систем водопідготовки. Зокрема, такий проєкт реалізовано спільно з компанією «ЛВТ Інжиніринг» на підприємстві з переробки помідорів фірми «Інагро», розташованого в м. Снігурівка, Миколаївської області [15].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Раніше згадані програмні продукти можна тільки частково використовувати для вирішення тих або інших питань виробничого циклу. На сьогодні в Україні немає спеціально розроблених пакетів програм, які безпосередньо можна використовувати в системах водопідготовки для підприємств з випуску мінеральних та питних вод. Тому автори намагаються вирішити цю проблему найпростішими існуючими програмними інструментами, доступними для використання широкому колу користувачів. При цьому підприємству не потрібно витратити значні додаткові кошти на впровадження таких інновацій при залученні сторонніх фахівців (розробка програмного продукту, його впровадження, супровід тощо).

Мета статті. Метою цього дослідження є аналіз можливості використання інформаційних технологій та подальшої автоматизації цього процесу для отримання питної води із заданим хімічним складом.

Виклад основного матеріалу. На території підприємства ТОВ «Нептун» знаходиться свердловина глибиною 830 м з мінеральною лікувально-столовою гідрокарбонатно-хлоридно-натрієвою водою. Цю воду підприємство фасує в пляшки, розливаючи її на місці видобутку, зберігаючи максимальний лікувальний ефект води.

Для виробництва води питної негазованої очищеної «Сіверська» підприємство використовує воду з артезіанської свердловини. Видобування води з артезіанської свердловини № 1 глибиною 94 м здійснюють за допомогою ерліфта, який складається з водопідйомних та повітряних труб. Діаметр водопідйомних труб 219 мм. Діаметр повітряних труб 73 мм, глибина їх загрузки 40 м. Тип насосу ЕЦВ, глибина заглиблення 36 м. В свердловині встановлено фільтр сітчастий діаметром 127 мм в інтервалі 78-90 м, загальна довжина робочої частини фільтра 12 м. Надфільтрові труби довжиною 25 м і діаметром 127 мм встановлено в інтервалі від 53 до 78 м. Відстійник завдовжки 4 м діаметром 127 мм встановлено від глибини 90 м до глибини 94 м. Робоча частина фільтра знаходиться в інтервалі 78–90 м. На свердловині використовують компресор марки ПК155 з глибиною загрузки 40 метрів водопідйомністю труб 219 дюйм/мм.

Хімічний склад води, що видобувається зі свердловини наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники якості води зі свердловини від 10 березня 2021 року

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Фактичне значення	Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10	Методика виконання досліджень
1	2	3	4	5
Водневий показник, рН	один. рН	7,06	6,5...8,5	ДСТУ 4077-2001
Вміст заліза загального, Fe ²⁺ , Fe ³⁺	мг/дм ³	3,65	<0,2	ГОСТ 4011-72
Вміст Мангану, Mn ²⁺	мг/дм ³	0,38	<0,05	ГОСТ 4974-72
Загальна твердість	ммоль/дм ³	6,36	<7,0	ДСТУ ISO 6095:2003
Вміст Кальцію, Ca ²⁺	мг/дм ³	80,52	не нормується	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Магнію, Mg ²⁺	мг/дм ³	19,46	не нормується	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Натрію та Калію, Na ⁺ +K ⁺	мг/дм ³	46,05	не нормується	
Лужність	ммоль/дм ³	7,3	не нормується	ГОСТ23268.3-78

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
Вміст гідроген карбонатів, HCO_3^-	мг/дм ³	445,4	не нормується	
Вміст нітритів, NO_2^-	мг/дм ³	<0,003	<0,5	ГОСТ 4192-89
Вміст нітратів, NO_3^-	мг/дм ³	<0,001	<50,0	ДСТУ 4078-2001
Вміст хлоридів, Cl^-	мг/дм ³	19,25	<250,0	ДСТУ ISO 9297:2007
Вміст сульфатів, SO_4^{2-}	мг/дм ³	0,06	<250,0	ГОСТ 4389-72
Вміст поліфосфатів, PO_4^{3-}	мг/дм ³	<0,01	<3,5	МВИ 081/37-0733-10
Вміст фторидів, F^-	мг/дм ³	1,03	0,7...1,2	ГОСТ 4386-89
Вміст цинку, Zn^{2+}	мг/дм ³	0,084	<1,0	МВВ 081/0173-05
Вміст алюмінію, Al^{3+}	мг/дм ³	0,2	<0,2	МВИ 081/37-0735-11
Вміст Молибдену, MoO_4^{2-}	мг/дм ³	<0,0025	<0,07	ГОСТ 18308-72
Вміст амонію, NH_4^+	мг/дм ³	0,58	<0,5	ГОСТ 4192-82
Сухий залишок	мг/дм ³	430	<1000	ГОСТ 18164-72

Хімічний склад води з цієї свердловини не відповідає встановленим нормативам, тому на підприємстві ТОВ «Нептун» застосовують ефективну систему очищення компанії ECOSOFT: реагентна система FK зі спеціальним сорбентом ЕКОМІКС для комплексного видалення солей твердості, іонів Феруму, Мангану, амонію та органічних домішок. Метод пом'якшення – іонообмінний – фільтрація води крізь шар катіоніту (іонообмінної смоли DOWEX виробництва компанії DOW CHEMICAL). ЕКОМІКС – це суміш п'яти іонообмінних та сорбційних матеріалів природного та синтетичного походження, що відрізняються за механізмом дії, питомою вагою та гранулометричним складом.

У процесі проходження води через фільтруючий шар його здатність до очищення поступово знижується, тому хімічний склад очищеної води змінюється і потребує постійного визначення, а співвідношення види при змішуванні – корекції. Крім того, у випадку подовженого простою системи для запобігання мікробіологічному заростанню системи проводять консервацію фільтруючого матеріалу регенеруючим розчином.

Результати аналізу води після першого ступеня очищення (визначено лише ті показники, які є ключовими в цьому дослідженні) та води питної очищеної негазованої «Сіверська» (одержаної після двоступеневої очистки) представлено у табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники якості води після першого ступеня очистки

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Фактичне значення	Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10	Методика виконання досліджень
Водневий показник, рН	один. рН	7,18	6,5...8,5	ДСТУ 4077-2001
Вміст заліза загального, Fe^{2+} , Fe^{3+}	мг/дм ³	0,06	<0,2	ГОСТ 4011-72
Вміст Мангану, Mn^{2+}	мг/дм ³	<0,001	<0,05	ГОСТ 4974-72
Загальна твердість	ммоль/дм ³	0,1	<7,0	ДСТУ ISO 6095:2003
Вміст Кальцію, Ca^{2+}	мг/дм ³	Не виявлено	не нормується	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Магнію, Mg^{2+}	мг/дм ³	1,22	не нормується	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Натрію та Калію, Na^+ + K^+	мг/дм ³	178,8	не нормується	Методика на рХ
Лужність	ммоль/дм ³	7,28	не нормується	ГОСТ 23268.3-78
Вміст гідроген карбонатів, HCO_3^-	мг/дм ³	444,2	не нормується	
Вміст хлоридів, Cl^-	мг/дм ³	20,91	<250,0	ДСТУ ISO 9297:2007
Вміст сульфатів, SO_4^{2-}	мг/дм ³	0,56	<250,0	ГОСТ 4389-72

Фізико-хімічні показники якості води питної «Сіверська»

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Фактичне значення	Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10	Методика виконання досліджень
Водневий показник, рН	один. рН	6,39	6,5...8,5	ДСТУ 4077-2001
Вміст заліза загального, Fe ²⁺ , Fe ³⁺	мг/дм ³	<0,01	<0,2	ГОСТ 4011-72
Вміст Мангану, Mn ²⁺	мг/дм ³	0,02	<0,05	ГОСТ 4974-72
Загальна твердість	ммоль/дм ³	0,29	<7,0	ДСТУ ISO 6095:2003
Вміст Кальцію, Ca ²⁺	мг/дм ³	1,96	<130	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Магнію, Mg ²⁺	мг/дм ³	2,43	<80	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Натрію та Калію, Na ⁺ +K ⁺	мг/дм ³	31,1	<200,0	Методика на рХ
Лужність	ммоль/дм ³	1,5	<6,5	ГОСТ 23268.3-78
Вміст гідроген-карбонатів, HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	91,53	не нормується	
Вміст нітритів, NO ₂ ⁻	мг/дм ³	<0,003	<0,5	ГОСТ 4192-89
Вміст нітратів, NO ₃ ⁻	мг/дм ³	<0,001	<50,0	ДСТУ 4078-2001
Вміст хлоридів, Cl ⁻	мг/дм ³	5,5	<250,0	ДСТУ ISO 9297:2007
Вміст сульфатів, SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	<0,05	<250,0	ГОСТ 4389-72
Вміст поліфосфатів, PO ₄ ³⁻	мг/дм ³	<0,01	<3,5	МВИ 081/37-0733-10
Вміст фторидів, F ⁻	мг/дм ³	0,03	0,7...1,2	ГОСТ 4386-89
Вміст Цинку, Zn ²⁺	мг/дм ³	<0,005	<1,0	МВВ 081/0173-05
Вміст Алюмінію, Al ³⁺	мг/дм ³	<0,03	<0,2	МВИ 081/37-0735-11
Вміст Молибдену, MoO ₄ ²⁻		<0,0025	<0,07	ГОСТ 18308-72
Вміст амонію, NH ₄ ⁺	мг/дм ³	0,20	<0,5	ГОСТ 4192-82
Сухий залишок	мг/дм ³	63,00	<1000	ГОСТ 18164-72

Обов'язковим для виконання в Україні є нормативно-правовий акт центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони здоров'я, а саме Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Згідно з цим документом, вміст кальцію (не більше ніж 130 мг/дм³) та магнію (не більше ніж 80 мг/дм³) нормується тільки для води фасованої, з пунктів розливу та бюветів. Показники фізіологічної повноцінності питної води для кальцію становлять 25–75 мг/дм³, магнію – 10–50 мг/дм³.

Національний стандарт ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» набрав чинності з 01 лютого 2015 року. Вимоги цього національного стандарту є добровільними для застосування і суб'єкт господарювання самостійно приймає рішення щодо застосування положень ДСТУ 7525:2014 у своїй сфері діяльності. Цей стандарт встановлює вміст кальцію у воді нецентралізованого питного водопостачання (фасованій та нефасованій) не більше як 130 мг/дм³, магнію – не більше як 80 мг/дм³ (оптимальний вміст кальцію – 25–75 мг/дм³, магнію – 10–50 мг/дм³).

Таким чином, після очистки рівень іонів Ca²⁺, Mg²⁺ нижче фізіологічного. Така вода потребує додаткової мінералізації. При змішуванні води після першого етапу очищення з очищеною на другому етапі зворотним осмосом водою в різних співвідношеннях можна одержати воду із заданим хімічним складом.

У роботі розглянуто можливість вибору коефіцієнта змішування двох типів води за використання найпростішого додатку – електронного табулятора Microsoft Office Excel. Пропонується проведення оперативного оцінювання коефіцієнта змішування для визначення концентрації іонів в одержаній воді (рис. 1).

У зв'язку з тим, що склад артезіанської води частково змінюється та змінюється ступінь очищення води за умов поступового насичення катіонів, то важливим є можливість оперативного вибору об'ємів води для змішування з метою одержання результуючої суміші з необхідною концентрацією іонів (С_з), виходячи з хімічного складу кожної води. Для реалізації

обраного шляху мінералізації рекомендується встановити ємність об'ємом 5 м³, в яку буде закачуватись вода після першого і другого ступенів очистки та додаткові трубопроводи (підводи води) до цього бака після 1-го і 2-го ступенів водоочистки. Для точного дозування води у відповідності з обраним коефіцієнтом змішування (обирається оператором за допомогою розрахунків програми Exel на основі даних хімічного складу води, визначених сертифікованою лабораторією) встановлюється цифровий датчик рівня води ECMS. Відповідно, можливі такі варіанти змішування V₁ (вода після першого ступеня очистки (іонообмінний) та V₂ (вода після другого ступеня водоочищення (зворотний осмос) V₁:V₂ як 0,5:4,5 (рис. 1); 1:4 (рис. 2); 1,5:3,5 (рис. 3); 2:3 (рис. 4). Для цього сторінка книги (Exel) сформована під кожне співвідношення (коефіцієнт змішування) і при введенні значень концентрації кожного іона оператор одразу бачить концентрацію C₃.

На рис. 1–4 наведено розрахунок для води, показники якості якої визначено 10 березня 2021.

	A	B	C	D	E	F
1	Показник	C ₁ , мг/дм ³	m ₁ , мг	C ₂ , мг/дм ³	m ₂ , мг	C ₃ , мг/дм ³
2	Катіони					
3	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	3,650	1,825	0,010	0,045	0,267
4	Mn ²⁺	0,380	0,190	0,020	0,090	0,040
5	Ca ²⁺	80,520	40,260	1,960	8,820	7,011
6	Mg ²⁺	19,460	9,730	2,430	10,935	2,952
7	Na ⁺ + K ⁺	46,050	23,025	31,100	139,950	23,282
8	Zn ²⁺	0,084	0,042	0,005	0,023	0,009
9	Al ³⁺	0,200	0,100	0,030	0,135	0,034
10	Аніони					
11	HCO ₃ ⁻	445,400	222,700	91,530	411,885	90,655
12	NO ₂ ⁻	0,003	0,002	0,003	0,014	0,002
13	NO ₃ ⁻	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001
14	Cl ⁻	19,250	9,625	5,500	24,750	4,911
15	SO ₄ ²⁻	0,060	0,030	0,050	0,225	0,036
16	PO ₄ ³⁻	0,010	0,005	0,010	0,045	0,007
17	F ⁻	1,030	0,515	0,030	0,135	0,093
18						

Рис. 1. Приклад розрахунків за співвідношення об'ємів 0,5:4,5

	A	B	C	D	E	F
1	Показник	C ₁ , мг/дм ³	m ₁ , мг	C ₂ , мг/дм ³	m ₂ , мг	C ₃ , мг/дм ³
2	Катіони					
3	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	3,650	3,650	0,010	0,040	0,527
4	Mn ²⁺	0,380	0,380	0,020	0,080	0,066
5	Ca ²⁺	80,520	80,520	1,960	7,840	12,623
6	Mg ²⁺	19,460	19,460	2,430	9,720	4,169
7	Na ⁺ + K ⁺	46,050	46,050	31,100	124,400	24,350
8	Zn ²⁺	0,084	0,084	0,005	0,020	0,015
9	Al ³⁺	0,200	0,200	0,030	0,120	0,046
10	Аніони					
11	HCO ₃ ⁻	445,400	445,400	91,530	366,120	115,931
12	NO ₂ ⁻	0,003	0,003	0,003	0,012	0,002
13	NO ₃ ⁻	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001
14	Cl ⁻	19,250	19,250	5,500	22,000	5,893
15	SO ₄ ²⁻	0,060	0,060	0,050	0,200	0,037
16	PO ₄ ³⁻	0,010	0,010	0,010	0,040	0,007
17	F ⁻	1,030	1,030	0,030	0,120	0,164
18						

Рис. 2. Приклад розрахунків за співвідношення об'ємів 1:4

	A	B	C	D	E	F
1	Показник	C ₁ , мг/дм ³	m ₁ , мг	C ₂ , мг/дм ³	m ₂ , мг	C ₃ , мг/дм ³
2	Катіони					
3	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	3,650	5,475	0,010	0,035	0,787
4	Mn ²⁺	0,380	0,570	0,020	0,070	0,091
5	Ca ²⁺	80,520	120,780	1,960	6,860	18,234
6	Mg ²⁺	19,460	29,190	2,430	8,505	5,385
7	Na ⁺ + K ⁺	46,050	69,075	31,100	108,850	25,418
8	Zn ²⁺	0,084	0,126	0,005	0,018	0,021
9	Al ³⁺	0,200	0,300	0,030	0,105	0,058
10	Аніони					
11	HCO ₃ ⁻	445,400	668,100	91,530	320,355	141,208
12	NO ₂ ⁻	0,003	0,005	0,003	0,011	0,002
13	NO ₃ ⁻	0,001	0,002	0,001	0,004	0,001
14	Cl ⁻	19,250	28,875	5,500	19,250	6,875
15	SO ₄ ²⁻	0,060	0,090	0,050	0,175	0,038
16	PO ₄ ³⁻	0,010	0,015	0,010	0,035	0,007
17	F ⁻	1,030	1,545	0,030	0,105	0,236
18						

Рис. 3. Приклад розрахунків за співвідношення об'ємів 1,5:3,5

	A	B	C	D	E	F
1	Показник	C ₁ , мг/дм ³	m ₁ , мг	C ₂ , мг/дм ³	m ₂ , мг	C ₃ , мг/дм ³
2	Катіони					
3	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	3,650	12,775	0,010	0,015	2,558
4	Mn ²⁺	0,380	1,330	0,020	0,030	0,272
5	Ca ²⁺	80,520	281,820	1,960	2,940	56,952
6	Mg ²⁺	19,460	68,110	2,430	3,645	14,351
7	Na ⁺ + K ⁺	46,050	161,175	31,100	46,650	41,565
8	Zn ²⁺	0,084	0,294	0,005	0,008	0,060
9	Al ³⁺	0,200	0,700	0,030	0,045	0,149
10	Аніони					
11	HCO ₃ ⁻	445,400	1558,900	91,530	137,295	339,239
12	NO ₂ ⁻	0,003	0,011	0,003	0,005	0,003
13	NO ₃ ⁻	0,001	0,004	0,001	0,002	0,001
14	Cl ⁻	19,250	67,375	5,500	8,250	15,125
15	SO ₄ ²⁻	0,060	0,210	0,050	0,075	0,057
16	PO ₄ ³⁻	0,010	0,035	0,010	0,015	0,010
17	F ⁻	1,030	3,605	0,030	0,045	0,730
18						

Рис. 4. Приклад розрахунків за співвідношення об'ємів 2:3

Інший варіант – встановлення автоматичної системи водопідготовки, наприклад, компанії ТОВ “Техноімпекс” [15]. Для дистанційного контролю та управління технологічним процесом у режимі реально часу використовується ПК зі встановленим програмним забезпеченням для комп’ютерної візуалізації Omron CX-Supervisor. Застосовуючи один з 17 блоків лінії водопідготовки за заданим алгоритмом з контролем питомої електропровідності води можливо оперативно впливати на процеси одержання води із заданим хімічним складом. Так, максимальний діапазон виміру питомої електропровідності води модулем – 200 мСм/м приблизно відповідає загальній мінералізації 1000 мг/дм³. Також у складі цієї автоматичної системи можна використовувати модулі розширення, наприклад, модуля аналогових входів Omron CJ1W-AD081-V1, для підключення датчиків мутності води, рівня води в накопичувальній ємності та тиску води на виході системи.

Висновки. Встановлено, що очистка води на ТОВ «Нептун» за допомогою зворотного осмосу призводить до її демінералізації, що підвищує ризик розвитку захворювань, зумовлених дефіцитом мікро- та макроелементів.

У роботі розглянуто можливість автоматизації процесу підготовки води із забезпеченням необхідного для кінцевого споживача хімічного складу. За вимогою замовника - ТОВ "Нептун", автоматизація обробки поточних показників якості питної води і доведення їх до необхідних має забезпечуватись наявними у них ліцензійними пакетами програм, зокрема MS Excel, що надалі отримає свій розвиток у пакетах з більш широким спектром функціональних алгоритмів і розвиненою графікою.

Запропоновані програмні результати демонструють можливість надання на виробництво більш зручного шляху проведення розрахунків для визначення оптимального коефіцієнту змішування води з різним хімічним складом.

Список використаних джерел

1. Толстопалова Н. М. Технологія та обладнання одержання питної та технічної води. Практикум. Частина 1 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / Н. М. Толстопалова, М. І. Літинська, Т. І. Обушенко. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 101 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29414>.
2. Cheremisinoff N. P. Handbook of water and wastewater treatment technologies / N. P. Cheremisinoff. – В.: Butterworth-Heinemann, 2002. – 645 p.
3. Senior D. Technology of bottled water. Second Edition / D. Senior, N. Dege. – UK: Blackwell Publishing, 2005. – 411 p.
4. Water mineralization and its importance for health / Ferreira-Pêgo C. et al. // Alimentacion, Nutricion y Salud. – 2016. – Vol. 23, № 1. – P. 4–18.
5. Файвішенко Д. С. Споживчий ринок мінеральної води: українські реалії / Д. С. Файвішенко // Підприємництво і торгівля. – 2019. – № 25. – С. 122–128.
6. Волошина М. Аналіз ринку мінеральної води України з 2016 року [Електронний ресурс] / М. Волошина. – Режим доступу: <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/analiz-rynka-mineralnoi-vody-2016.html>.
7. Сичов М. І. Бювети як альтернативна складова якісного водопостачання / М. І. Сичов, Л. В. Коломієць, С. Д. Болдирєв // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2015. – № 1(6). – С. 6–10.
8. Збалансованість мінерального складу питних вод як чинник впливу на здоров’я населення міських агломерацій північно-західного причорномор’я / Т. А. Сафранов, Н. В. Грабко, А. А. Поліщук, Г. Г. Трохименко // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2016. – № 20. – С. 5–17.
9. Медико-гідрогеохімічні чинники геологічного середовища України / за ред. Г. І. Рудька. – Київ – Чернівці : Букрек, 2015. – 724 с.
10. Автоматизація підприємств харчової промисловості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.inagro.com.ua/programs/harchova/>.

11. Fast, efficient and user-friendly data analysis – with Tibco® data science / Statistica™ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.statistica.com/en/>.
12. Important ptc mathcad announcement [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mathcad.com/en/>.
13. Originlab [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.originlab.com>.
14. Microsoft 365 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365>.
15. Автоматизація системи водопідготовки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://technimpex.com/avtomatyzatsiya-systemy-vodopidhotovky>.

References

1. Tolstopalova, N. M., Litynska, M. I., Obushenko, T. I. (2019). *Tekhnolohiia ta obladnannia oderzhannia pytnoi ta tekhnichnoi vody. Praktykum. Chastyna 1: navchalnyi posibnyk dlia stud. spetsialnosti 161 «Khimichni tekhnolohii ta inzheneriia», spetsializatsii «Khimichni tekhnolohii neorhanichnykh rehovyn ta vodoochyschennia»* [Technology and equipment for obtaining drinking and industrial water. A practical guide. Part 1: study guide for students of the specialty 161 “Chemical technologies and engineering”, specialization “Chemical technologies of inorganic substances and water purification”]. KPI im. Ihoria Sikorskoho. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29414>.
2. Cheremisinoff, N. P. (2002). *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. Butterworth-Heinemann.
3. Senior, D., Dege, N. (2005). *Technology of bottled water. Second Edition*. Blackwell Publishing.
4. Ferreira-Pêgo, C., Babio, N., Maraver Eyzaguirre, F., Vitoria Miñana, I., Salas-Salvadó, J. (2016). Water mineralization and its importance for health. *Alimentacion, Nutricion y Salud – Food, Nutrition and Health*, 23(1), 4–18.
5. Faivishenko, D. S. (2019). Spozhyvchyi rynek mineralnoi vody: ukrainski realii [Mineral water consumer market: ukrainian realities]. *Pidpriumnystvo i torhivlia – Entrepreneurship and Trade*, 25, 122–128 [in Ukrainian].
6. Voloshyna, M. *Analiz rynku mineralnoi vody Ukrainy z 2016 roku* [Analysis of the mineral water market in Ukraine since 2016]. <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/analiz-rynka-mineralnoi-vody-2016.html>.
7. Sychov, M. I., Kolomiets, L. V., Boldyriev, S. D. (2015). Biuvety yak alternatyvna skladova yakisnoho vodopostachannia [Pump room as an alternative component water quality]. *Zbirnyk naukovykh prats Odeskoi derzhavnoi akademii tekhnichnoho rehuliuвання ta yakosti – Collection of scientific works of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality*, 1(6), 6–10.
8. Safranov, T. A., Hrabko, N. V., Polishchuk, A. A., Trokhymenko, H. H. (2016). Zbalansovanist mineralnogo skladu pytnykh vod yak chynnyk vplyvu na zdorovia naseleння miskykh ahlomeratsii pivnichno-zakhidnogo prychnornomia [Balanced mineral composition of drinking water as a factor of influence on health of the population of urban agglomerations northwest Black sea region]. *Visnyk Odeskoho derzhavnogo ekolohichnogo universytetu – Bulletin of the Odessa State Ecological University*, 20, 5–17.
9. Rudka, H. I. (Ed.). (2015). *Medyko-hidroheokhimichni chynnyky heolohichnogo seredovyscha Ukrainy* [Medical and hydrogeochemical factors of the geological environment of Ukraine]. Bukrek.
10. *Avtomatyzatsiia pidpriumstv kharchovoi promyslovosti* [Automation of food industry enterprises]. (n.d.). <https://www.inagro.com.ua/programs/harchova/>.
11. Fast, efficient and user-friendly data analysis – with Tibco® data science / Statistica™. <https://www.statistica.com/en/>.
12. Important ptc mathcad announcement. (n.d.). <https://www.mathcad.com/en/>.
13. Originlab. (n.d.). <https://www.originlab.com>.
14. Microsoft 365. (n.d.). <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365>.
15. Avtomatyzatsiia systemy vodopidhotovky [Automation of water treatment system]. (n.d.). <https://technimpex.com/avtomatyzatsiya-systemy-vodopidhotovky/>.

Отримано 25.07.2021

UDC 628.16:004

**Zhanna Zamai¹, Svitlana Borovyk², Ihor Kostenko³,
Hennadii Pasov⁴, Nataliia Buialska⁵, Serhii Tsybulia⁶**

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Technologies
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: zamaizhanna@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2879-4677>

²Deputy Director of «Neptune» LLC (Mena, Ukraine)

E-mail: neptun_ltd@ukr.net

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technologies
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: atdrj@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1195-5163>

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,

⁴Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: genapasov@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>

⁵PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technologies
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: Buialska@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604>

⁶Doctor in Technical Sciences, Professor of the Department of Food Technologies
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: stcibula@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7843-6061>

**INFORMATION TECHNOLOGIES IN WATER TREATMENT
AND POSSIBILITIES OF ITS AUTOMATION ON THE EXAMPLE
OF DRINKING WATER PRODUCTION “SIVERSKA”**

The purpose of this study was to analyze the possibility of using information technology to obtain drinking water with a given chemical composition.

At Neptune LLC, the chemical composition of artesian well water does not meet the established standards, so they use an effective purification system of ECOSOFT: reagent system FK with a special sorbent ECOMIX for complex removal of hardness salts, iron ions, manganese, ammonium and organic impurities. Ion exchange is used as method of purification: water is filtered through a layer of cation exchange resin. The second stage of purification is reverse osmosis. After such purification, the level of Ca²⁺ and Mg²⁺ ions is below physiological and water needs additional mineralization, consumption of demineralized water increases the risk of developing diseases caused by deficiency of micro- and macronutrients.

When mixing water after the first stage of purification with purified in the second stage of reverse osmosis water in different ratios, you can get water with a given chemical composition.

The paper considers the possibility of choosing the mixing ratio of two types of water using the simplest application - Microsoft Office Excel spreadsheet.

The tables show the possibility of providing a convenient way to calculate the concentrations of each ion in the water obtained after mixing. To do this, it is recommended to have a volume of 5 m³ and additional water supply to it after the 1st and 2nd stages of water treatment. A digital water level sensor ECMS is installed for accurate water dosing in accordance with the selected mixing factor. Automation of water treatment will give the chance to make production of various structure depending on orders of consumers.

The presented materials can be used at the enterprises carrying out water treatment by mixing of water of various degrees of purification.

Keywords: water treatment; indicators and standards of drinking water quality; reverse osmosis; Exel program; automation.

Fig.: 4. Table: 3. References: 15.