

13. Falkovich, G. (2011). *Fluid Mechanics, a short course for physicists*. Cambridge University Press.
14. Volk M. (2013). *Pump Characteristics and Applications*. CRC Press.
15. Hossain, M.E., & Al-Majed, A.A. (2015). *Fundamentals of sustainable drilling engineering*. John Wiley & Sons.
16. Ihnatov, A.O., Koroviaka, Ye.A., Haddad, J., et al. (2022). Experimental and theoretical studies on the operating parameters of hydromechanical drilling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 20–27.
17. Ihnatov, A.O., Askerov, I.K. (2022). *Patent of Ukraine 151535. МПК E21B 4/14. Prystrii dlia hidroudarnoho burinnia [Device for water hammer drilling]*. (Patent Ukrainy 151535).
18. Ihnatov, A.O., Askerov, I.K. (2022). *Patent of Ukraine 151571. МПК E21B 4/14. Hidroudarnyк dlia burinnia [Hydraulic hammer for drilling]*. (Patent Ukrainy 151571).

УДК 622.24.051

DOI: 10.33839/2708-731X-27-1-99-105

**Є.А. Коровяка**, канд. техн. наук; **М.Р. Мекшун**

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: koroviaka.ye.a@ntu.one*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСІВ ГІДРОМОНІТОРНИХ БУРІВ З ОПТИМАЛЬНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

*Визначено вплив параметрів термообробки сталей на їхню ударну в'язкість, а також оптимізація технологічних прийомів для забезпечення найкращих механічних властивостей гідромоніторних бурів.*

*У ході роботи встановлено, що ізотермічна обробка дозволяє підвищити значення ударної в'язкості сталі 35ХГСА до 69 Дж/см<sup>2</sup>, зберігаючи при цьому міцність корпусу гідромоніторного бура на рівні 50 HRC. Як режим термічної обробки для обраної сталі марки 35ХГСА було прийнято ізотермічне загартування в розплаві солі.*

*Максимальну міцність (зносостійкість) для сталі 35ХГСА можна отримати при низько- та середньотемпературних відпусках, причому для низькотемпературного відпуску сталі 35ХГСА характерне падіння ударної в'язкості. Тому для виготовлення гідромоніторного бура рекомендується вибирати сталь вітчизняного виробництва марки 35ХГСА.*

**Ключові слова:** *свердловина, гідромоніторний бур, ударна в'язкість, твердість сталі, загартування сталі.*

### **Вступ**

В процесі роботи гідромоніторний бур піддається впливу різних знакозмінних навантажень, наприклад, гідроудару. Присутність гідроудару при експлуатації гідромоніторних бурів з часом призводить до появи тріщин, течій, збоїв балансу тиску, серйозних проривів, аж до повного руйнування корпусу, що в умовах вибою свердловини призведе до серйозної аварії. Основним параметром, що впливає на здатність сталевго корпусу гідромоніторного бура витримувати знакозмінні навантаження, є ударна в'язкість.

З іншого боку, гідромоніторний бур піддається впливу частинок зруйнованої породи (шламу), які піддають корпус абразивному зношуванню. Основним параметром, що впливає на здатність сталевго корпусу гідромоніторного бура чинити опір абразивному зношуванню,

є зносостійкість. Зносостійкість корпусу гідромоніторного бура – це похідний показник від твердості його поверхні.

Для проведення експерименту були прийняті вуглецеві сталі з різними легуючими добавками: сталь 40Х, сталь 35ХГСА та сталь 40ХН2МА. На сьогодні це найдоступніші сталі, які виробляються вітчизняними металургійними підприємствами в умовах обмеженого імпорту під час воєнного стану в Україні.

Відповідно до наявних відомостей, на сьогоднішній день термічна обробка є найбільш поширеним способом зміни структури та властивостей металів і сплавів. Під термічною обробкою сталі мають на увазі процес її нагрівання до визначеної температури, витримання при цій температурі й подальше охолодження із заданою швидкістю з метою зміни структури та властивостей [1, 2].

Сучасна технологія термічної обробки металу складається з наступного регламенту [3]: 1) відпал (проводиться за необхідності); 2) максимальна температура нагрівання  $T_{\text{тах}}$ ; 3) допустима швидкість нагрівання  $t_{\text{max}}$ ; 4) час витримки при температурі нагрівання  $t_{\text{max}}$ ; 5) режим охолодження, а також належне технологічне обладнання й засоби контролю; 6) відпуск.

Саме вказані способи термічної обробки ми можемо рекомендувати для отримання відповідних показників міцності корпусу гідромоніторного буру.

Під час проведення аналізу найпоширеніших видів термічної обробки сталей були визначені основні напрямки досліджень та висновки:

1. Виходячи з того, що цементация та азотування приводять тільки к підвищенню зносостійкості поверхні на незначну глибину 0,6 мм та 2 мм відповідно – ці види обробки не задовольняють основні технічні показники по зносостійкості гідромоніторних бурів.

2. Для виготовлення гідромоніторних бурів приймаємо наступний регламент термічної обробки:

- відпал (проводиться за необхідності);
- загартування сталі;
- відпуск.

Відпал проводимо для отримання дрібнозернистої структури сталі, що особливо важливо для отримання хороших показників ударної в'язкості.

Загартування сталі буде проводитись згідно рекомендації довідкової літератури. Для порівняння характеристик загартованої сталі загартування будемо проводити на різні розчини: полімерні розчини, масло, та розплав солі.

Відпуск сталей буде проводитись на різну температуру для отримання оптимальної ударної в'язкості при максимальній зносостійкості.

Метою статті є дослідження технології виготовлення корпусів гідромоніторних бурів з оптимальними експлуатаційними характеристиками.

### **Методика дослідження**

Проведення лабораторних досліджень базувалося на підставі застосування методів планування експерименту та обробки його результатів, які розроблені на основі теорії ймовірностей та математичної статистики і дозволяють істотно скоротити кількість необхідних дослідів. Випробування на твердість за Роквеллом – це метод оцінки твердості матеріалів, що базується на вимірюванні глибини проникнення твердого наконечника (вістря, індентора) під заданим навантаженням у досліджуваній матеріал.

Результати дослідження

Для визначення ударної в'язкості сталі для виготовлення корпусу гідромоніторних бурів було використано копери (рис. 1).

Під час випробування зразок з надрізом, який лежить посередині на двох контролерах, руйнується одним ударом маятника за умов, викладених нижче. В результаті

випробовування визначають повну роботу, затрачену під час удару (роботу удару) у джоулях. Ця витрачена робота удару є мірою тривкості матеріалів проти ударного навантаження [2].

Копер складається з чавунної станини у вигляді масивної плити 2 з двома вертикальними колонами 3. У верхній частині колон на горизонтальній осі підвішений укріплений у шарикопідшипниках маятник з вантажем у вигляді сталевого плоского диска з вирізом 5, в якому закріплений сталевий загартований ніж, що служить бойком при випробуванні. Внизу на рівні вертикально розташованого маятника до колон станини прикріплені дві сталеві загартовані опори 10, на які поміщають зразок 11.

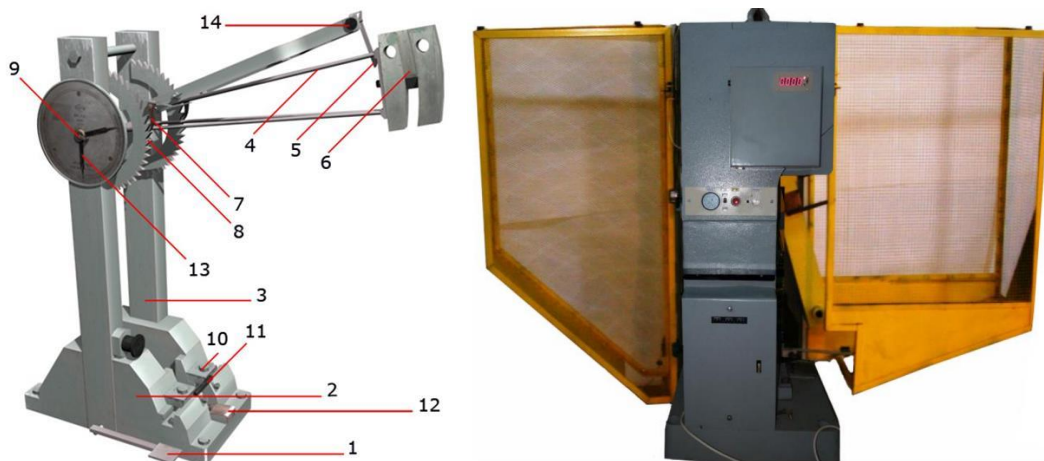


Рис. 1. Загальний вигляд копра

Під опорами між колонами проходить гальмівний ремінь 12, який, притискаючись до маятника, що гойдається після удару, викликає його гальмування. Гальмівний ремінь приводиться в дію за допомогою педалі 1.

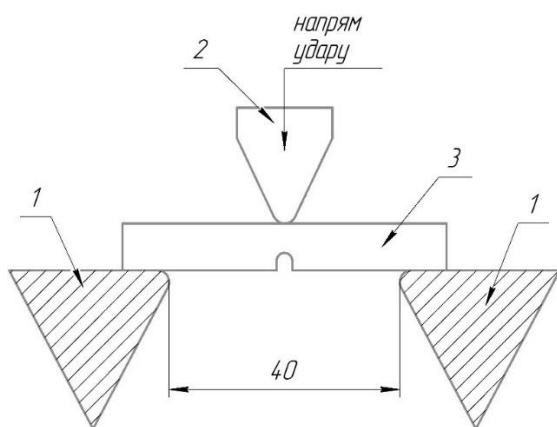


Рис. 2. Схема розміщення зразку типу U для випробовування на ударний вигин за Шарпі:  
1- опора копра; 2 – ударник копра; 3 – зразок сталі

Перед випробуванням маятник піднімають на вихідну висоту та утримують його в цьому положенні клямкою 6. У копрі ця висота залежить від того, в якому положенні встановлена клямка підйомної рами 7 у храповику.

При випробуванні зразка маятник звільняється від клямки 6, падаючи, вдаряє зразок, руйнує його і злітає на деякий кут, яким визначається робота, витрачена на руйнування зразка. У копрі на осі маятника жорстко закріплений повідець 9. При прямому та зворотному русі маятника повідець захоплює за собою відповідно одну або іншу стрілку шкали 13 і залишає їх у положенні, що фіксує ніж, що служить бойком при випробуванні (рис. 2). Внизу

на рівні вертикально розташований маятника до колон станини прикріплені дві сталеві загартовані опори 10, на які поміщають зразок 11. Під опорами між колонами проходить гальмівний ремінь 12, який, притискаючись до маятника, що гойдається після удару, викликає його гальмування. Гальмівний ремінь приводиться в дію педаллю 1.

Вид зразків, а також їх кількість та розташування і місце вирізування вказують у відповідному стандарті на металопродукцію. Основний зразок має довжину 55 мм і квадратний поперечний переріз зі стороною 10 мм (рис. 3). На середині всієї довжини зразок має надріз.

Встановлено дві форми надрізу:

V-подібний надріз з кутом  $45^\circ$ , з глибиною 2 мм і радіусом 0,25 мм.

U-подібний надріз або надріз у вигляді замкової шпори глибиною 5 мм та радіусом 1 мм.

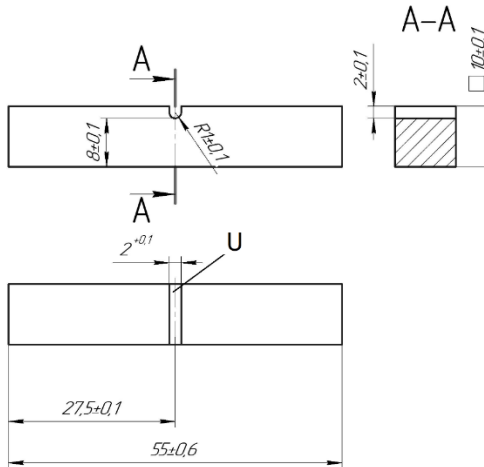


Рис. 3. Зразок типу U для випробовування на ударний вигин

Зносостійкість корпусу гідромоніторного бура є похідним показником від твердості його поверхні та може бути визначена за методом Роквелла. Метод є найпоширенішим для загартованої сталі [4].

Випробування на твердість за Роквеллом – це метод оцінки твердості матеріалів, що базується на вимірюванні глибини проникнення твердого наконечника (вістря, індентора) під заданим навантаженням у досліджуваний матеріал. Твердість потрібно вимірювати не менш ніж у трьох точках. Для обчислення беруть середнє значення результатів другого і третього вимірювань.

Твердомір ТК-2М призначений для вимірювання твердості металів і сплавів за методом Роквелла (рис. 4).

Твердомір ТК-2М належить до стаціонарних твердомірів, які реалізують прямий метод вимірювання твердості.

Твердомір ТК-2М дає вимірювати твердість деталей і зразків із металів і конструкційних пластмас. Прилад має електромеханічний привод навантаження. Зміна навантажень забезпечується поворотом ручки. Вимірювання твердості за допомогою твердоміра ТК 2 М забезпечується за 3 шкалами інденторами з алмазним наконечником і сталеву кулькою діаметром 1,588 мм. Пристрій відліку твердості – аналоговий (індикатор годинникового типу).

Для кожного з трьох видів сталі 40Х, 35ХГСА та 40ХН2МА термообробка проводилась в три етапи:

- відпал;
- загартування згідно нормативної літератури на максимальну твердість;
- відпуск трьох видів (низько-, середньо- та високотемпературний).

Зразки розміром 10x10x55 промарковані номерами з кожного кінця для спрощення їх ідентифікації після руйнування зразка на копрі.

Технологічні властивості сталі досліджувались в наступній послідовності [5]:

- 1) вимірювання твердості зразка;
- 2) вимірювання ударної в'язкості зразка.

Результати експериментів наведені у вигляді графіків на рис. 5–8.



Рис. 4. Загальний вигляд твердоміра ТК-2М

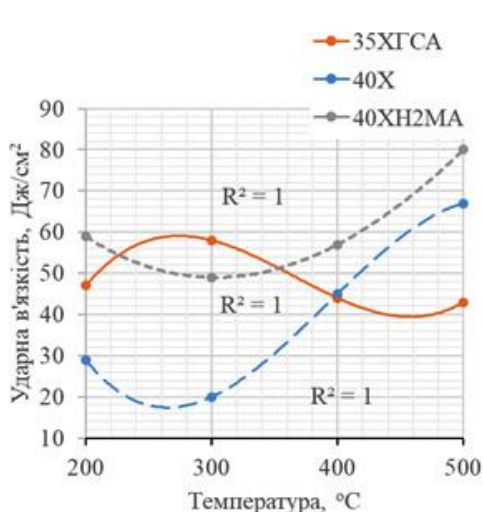


Рис. 5. Залежність ударної в'язкості від температури відпуску при стандартному загартуванні

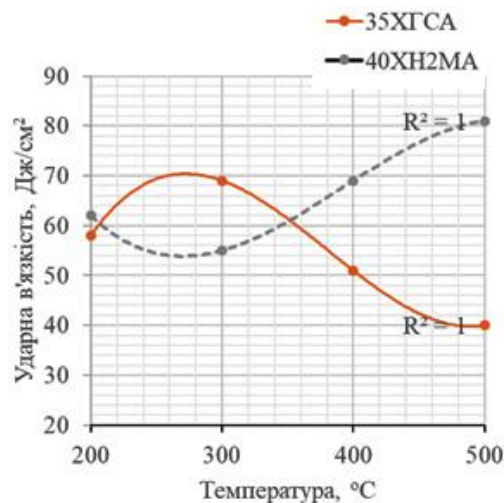


Рис. 6. Залежність ударної в'язкості від температури відпуску при ізотермічному загартуванні

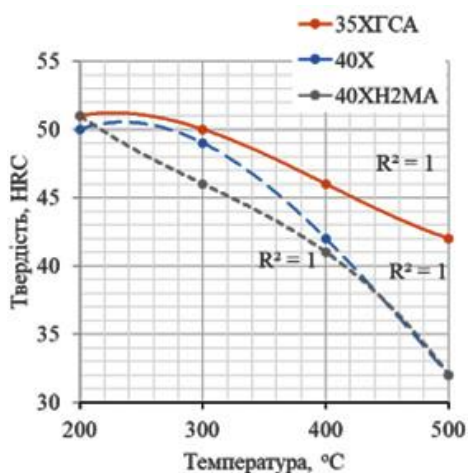


Рис. 7. Залежність твердості від температури відпуску при стандартному загартуванні

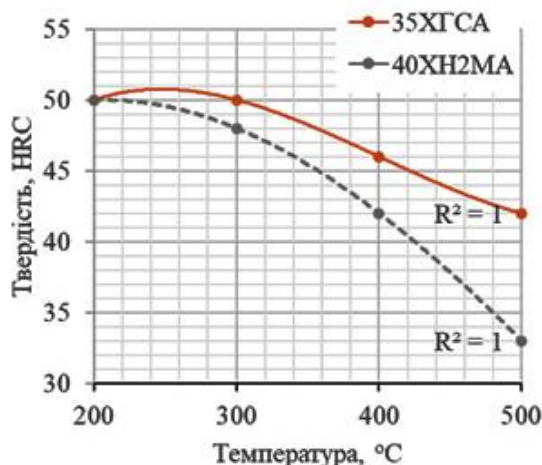


Рис. 8. Залежність твердості від температури відпуску при ізотермічному загартуванні

По графікам рис. 5 та 6 видно, що максимальну ударну в'язкість ми отримали при високотемпературному відпуску для сталі 40ХН2МА. При цьому незалежно від того, стандартне це загартування чи ізотермічне, ударна в'язкість знаходиться на одному рівні – 80 Дж/см². Однак при високотемпературному відпуску твердість цієї сталі знаходиться на низькому рівні 32-33 HRC, що призведе до швидкого виходу зі строю корпусу гідромоніторного бура.

По графікам рис. 7 та 8 бачимо, що максимальну твердість (зносостійкість) ми отримали при низько- та середньотемпературному відпусках для сталі 35ХГСА. Однак для низькотемпературного відпуску сталі 35ХГСА характерне падіння ударної в'язкості [6]. Тому для виготовлення гідромоніторного бура рекомендуємо вибрати сталь вітчизняного виробництва марки 35ХГСА. В якості режиму термічної обробки приймаємо ізотермічне загартування на розплав солі: ударна в'язкість 69 Дж/см² при твердості корпусу 50 HRC.

## Висновки

1. При ізотермічному загартуванні сталь має більш дрібнозернисту троститну пластинчасту структуру, що й обумовлює зростання ударної в'язкості при ізотермічному загартуванні.

2. У ході роботи встановлено, що ізотермічна обробка дозволяє підвищити значення ударної в'язкості для сталі 35ХГСА до 69 Дж/см<sup>2</sup>, зберігаючи твердість корпусу гідромоніторного бура на рівні 50 HRC. В якості режиму термічної обробки для вибраної сталі марки 35ХГСА приймаємо ізотермічне загартування на розплав солі.

**Ye.A. Koroviaka, M.R. Mekshun**

*Dnipro University of Technology*

## RESEARCH OF THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING HYDROMONITOR DRILLS HOUSING WITH OPTIMAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

*The influence of heat treatment parameters of steels on their impact strength has determined, as well as the optimization of technological methods to ensure the best mechanical properties of hydraulic monitor drills..*

*During the work, it was established that isothermal treatment makes it possible to increase the value of impact strength for 35XGSA steel to 69 J/cm<sup>2</sup>, while maintaining the strength of the hydraulic drill body at the level of 50 HRC. Isothermal hardening in molten salt was adopted as the heat treatment mode for the selected steel grade 35 XGSA.*

*Maximum strength (wear resistance) for 35KhGSA steel can be obtained by low- and medium-temperature tempering, and low-temperature tempering of 35XGSA steel is characterized by a drop in impact toughness. Therefore, for the manufacture of a hydraulic drill, it is recommended to choose domestically produced steel grade 35XGSA.*

**Key words:** well, hydraulic jet drill, impact strength, steel hardness, steel hardening.

## Література

1. Городжа А.Д. Матеріалознавство та електротехнічні матеріали. Київ: КНУБА, 2006. – 300 с.
2. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способи зміцнення металів. Дніпро: НМетАУ, 2021. – 89 с..
3. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. Київ: Кондор, 2006. – 528 с.
4. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Київ: «Либідь», 2002. – 326 с.
5. Odeh A. A. Metallurgy & heat treatment: The pocket book. Rockford: ATRONA Metallurgical Services, 2000. – 153 p.
6. Totten G. E. Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies. CRC, 2006. – 848 p.

*Надійшла 15.10.24*

## References

1. Horodzha, A.D. (2006). Materialoznavstvo ta elektrotekhnichni materialy [Materials science and electrical materials]. KNUBA [in Ukrainian].
2. Pohrebna, N.E., Kutsova, V.Z., & Kotova, T.V. (2021). Sposoby zmitsnennia metaliv [Methods of strengthening metals]. NMetAU [in Ukrainian].
3. Atamaniuk, V.V. (2006). Tekhnolohiia konstruktsiinykh materialiv [Technology of construction materials]. Kondor [in Ukrainian].

4. Khilchevskiy, V.V., Kondratiuk, S.Ie., Stepanenko, V.O., & Lopatko, K.H. (2002). Materialoznavstvo i tekhnolohiia konstruksiiynykh materialiv [Materials science and technology of structural materials]. Lybid [in Ukrainian].
5. Odeh A.A. (2000). Metallurgy & heat treatment: The pocket book. ATRONA Metallurgical Services.
6. Totten G.E. (2006). Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies. CRC.

УДК 622.233:551.49

DOI: 10.33839/2708-731X-27-1-105-112

**А. К. Судаков**, д-р техн. наук; **А. С. Шумов**, аспірант

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпро,  
E-mail: sudakovy@ukr.net, Shumov.An.S@nmi.one*

### **ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ЦУКРУ ТА ВІДХОДІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БЛОКОВИХ ГРАВІЙНИХ ФІЛЬТРІВ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН**

*Метою роботи є удосконалення технології застосування блокового гравійного фільтра гідрогеологічних свердловин за рахунок використання нових в'язучих матеріалів – цукру та відходів цукрового виробництва, що дозволять покращити технологічні властивості блокового гравійного фільтра, збільшити термін служби свердловин та знизити загальні витрати на видобуток корисної копалини.*

*Практичне значення роботи полягає в розробці нового в'язучого матеріалу блокового гравійного фільтра, який має покращені технічні та експлуатаційні характеристики. Використання цукру та відходів його виробництва як в'язучих матеріалів дозволяють знизити гідравлічний опір блокового гравійного фільтра, збільшити його щільність і забезпечити рівномірне розповсюдження гравію навколо фільтрової колони після її встановлення в свердловину.*

**Ключові слова:** *гідрогеологічна свердловина, блоковий гравійний фільтр, в'язучий матеріал, буріння, свердловина.*

#### **Постановка проблеми**

Вода є одним з найважливіших ресурсів на нашій планеті; дефіцит стає глобальною проблемою, яка загрожує благополуччю мільярдів людей. Організація Об'єднаних Націй визнає дефіцит води проблемою номер один у світі. До 2025 року очікується, що 3,2 мільярда жителів планети будуть страждати від нестачі прісної води. Щодня у світі споживається приблизно 10 мільярдів тонн води, але шокуючим є те, що 80% цієї використаної води повертається в навколишнє середовище неочищеною. Крім того, 1,8 мільярда людей вже зараз не мають доступу до чистої питної води. Ці цифри підкреслюють масштаб і серйозність водної кризи, що вимагає негайної та координованої відповіді з боку міжнародного співтовариства [1].

Рівень споживання води на душу населення у різних країнах варіюється, що відображає як доступність, так і використання водних ресурсів. Найвищі показники споживання води на одну людину спостерігаються у Новій Зеландії, де цей показник сягає 2,16 тисяч кубічних метрів на рік. За нею слідує США з 1,58 тисяч кубічних метрів, Естонія з 1,33 тисяч кубічних метрів, Канада з 1 тисячею кубічних метрів та Греція з 0,88 тисяч кубічних метрів на рік. У той же час, країни з найменшими запасами питної води на душу населення стикаються з серйозними викликами. Єгипет має лише 30 кубічних метрів на рік на одну людину, Ізраїль