

УДК 620.9:621.482

А.А.Барило, О.В.Хіменко, М.Ю.Васильченко (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

## Дослідження гідродинамічних та теплових характеристик стічних вод із дренажних споруджень Національного Ботанічного саду ім. М.М.Гришка

На основі експериментальних досліджень визначено обсяги скидних вод, що надходять із дренажної та протизсувної системи Національного Ботанічного саду ім. М.М.Гришка, оцінено стабільність їх гідродинамічних і теплових характеристик, запропоновано схему раціонального їх використання.

**Ключові слова:** приплив скидних вод, дренажна та протизсувна система, оглядовий колодязь, акумулюючий басейн.

На основе экспериментальных исследований определены объёмы сбросных вод, поступающих из дренажной и противооползневой системы Национального Ботанического сада им. Н.Н.Гришко, оценена стабильность их гидродинамических и тепловых характеристик, предложена схема рационального их использования.

**Ключевые слова:** приток сбросных вод, дренажная и противооползневая система, смотровой колодец, аккумулирующий бассейн.

**Вступ.** Національний Ботанічний сад ім. М.М.Гришка НАН України (НБС) щорічно споживає біля 80 тис. м<sup>3</sup> води господарсько-технічного та питного призначення, яку купує у ПАТ "АК "Київводоканал" за ціною 3,64 грн за 1 м<sup>3</sup> (станом на 01.01.2015 р.). Більше половини цієї води використовується для поливання тепличних і ґрунтових насаджень та для забезпечення систем підтримання мікроклімату купольної оранжереї.

У той же час на території НБС із дренажних та протизсувних споруд регулярно скидаються в р. Дніпро підземні води, які можливо використовувати для згаданих вище потреб.

Метою даного дослідження є визначення обсягів скидних дренажних вод, оцінка стабільності їх гідродинамічних і теплових характеристик, вивчення впливу відбору стічних вод на екологічні умови території та надання пропозиції щодо їх подальшого використання.

**Вибір об'єкта досліджень.** Під час проведення візуального огляду території НБС з метою встановлення підземних і поверхневих проявів джерел стічних вод на східному схилі р. Дніпро було виявлено три перспективних об'єкти: пункти спостереження №1 і №2 та оглядовий

колодязь СМК-1А, розташування яких показано на рис. 1.

Вибір об'єкта досліджень базувався на наступних вимогах:

- джерело стічних вод повинне знаходитися на мінімальній відстані від потенційного споживача, тобто тепличного господарства НБС та купольної оранжереї;
- джерело стічних вод повинне мати максимальний дебіт;
- поблизу джерела має бути достатньо місця для спорудження акумулюючого басейну, а рельєф місцевості має бути придатний для цього спорудження.

Найбільше цим вимогам задовольняє оглядовий колодязь СМК-1А, який входить у систему ДШС №47 "Видубицька". Пункти спостереження №1 і №2 розглядаються як додаткові джерела стічних вод.

**Опис існуючої протизсувної та дренажної системи ділянки НБС.** На території НБС розташовано 4 дренажні штольні системи, схема розміщення яких наведена на рис. 1. Штольня ДШС №47 "Видубицька", до якої належить оглядовий колодязь СМК-1А, була споруджена в 1968 р. уздовж східного схилу НБС з метою перехоплення та відведення ґрунтових вод.

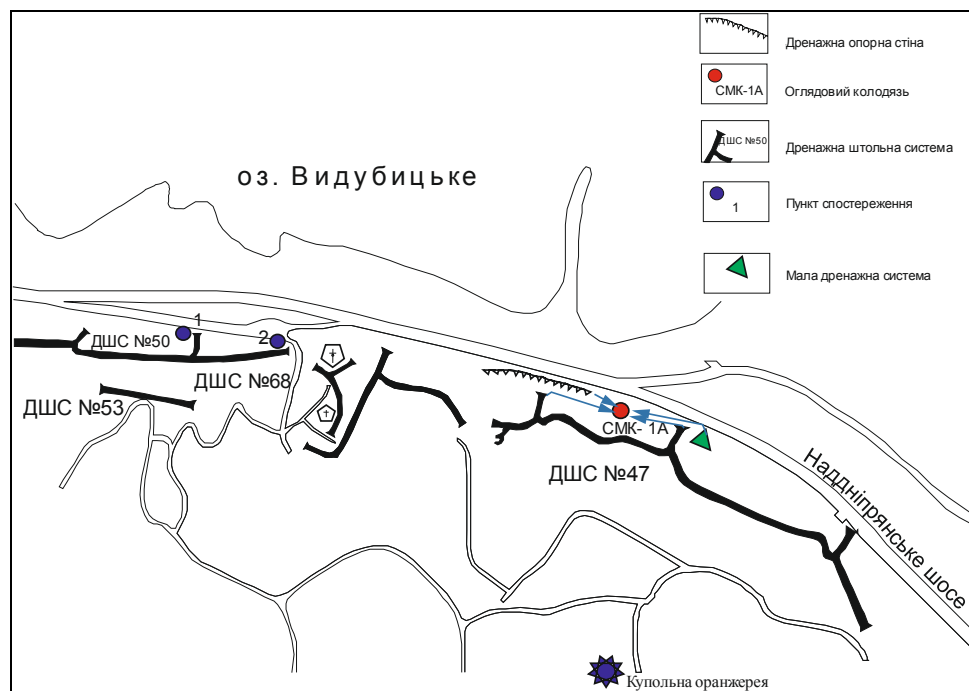


Рис. 1. Схема розташування дренажних штолень ділянки НБС НАНУ.

Геологічний розтин штольні показано на рис. 2. Штольня прокладена в слабопроникних наглинках і мергелях київської свити та має практично горизонтальне залягання (ухил не перевищує 2 м на 1 км). Довжина штольні становить 1008 м, глибина залежно від рельєфу змінюється від 7 до 35 м. Штольня має 4 відводи (портالي) з виходами на денну поверхню для організації вентиляції повітря та природного стікання підземних вод.

В покрівлю штольні вбудовано 249 водознижуючих свердловин, які мають діаметр 2,5" та обладнані фільтрами. Пробурені ці свердловини з метою часткового розвантаження водоносних горизонтів, що розташовані над штольнею. Довжина свердловин змінюється від 3,9 до 7 м. Виведена з водоносних горизонтів підземна вода по свердловинах-фільтрах стікає в штольню, далі через портали надходить у колодезні-гасителі, потім до оглядового колодезя СМК-1А, а далі скидається в р. Дніпро.

Слід зазначити, що побудована дренажна система справляється зі своїм завданням не повністю. Водоносний горизонт продовжує розвантажуватися на схилах балки, що викликає заболочування місцевості і підсилює зсувні явища.

Тому в 2004 році в безпосередній близькості на північ від СМК-1А була споруджена дренажна опорна стіна (див. рис. 1.), вода з якої зараз також надходить до колодезя. Крім цього в колодезь поступає вода з додаткової малої дренажної системи, розташованої в яру на південь від СМК-1А [1].

**Геоморфологічні та гідрогеологічні умови ділянки.** Територія НБС у геоморфологічному відношенні є останцем древнього Наддніпрянського плато, який сформувався в результаті танення стародавніх льодовиків, розмиву і виносу величезних мас порід і створення балок: з півночі – Наводницької, із заходу – Саперно-Звіринецької. З півдня ділянка обмежена долиною р. Либідь, зі східної та південно-східної сторони – долиною р. Дніпро.

Активна льодовикова діяльність привела до специфічних геоморфологічних та гідрогеологічних особливостей даної території.

В першу чергу, це сильна розчленованість рельєфу, що зумовлена значним перепадом висот між долиною р. Дніпро і вододілами (різниця висот складає 85-95 м), а також крутизною схилів (до 80°). Загальний ухил ділянки спрямований із півночі на південь від Наводницької балки до долини р. Либідь.

Другою важливою особливістю є порушення природного стратиграфічного залягання водоносних і слабопроникних горизонтів. Розмив і сповзання ділянок території призвели до того, що окремі водоносні горизонти (зокрема, полтавський і харківський) на даний час мають суміжне залягання, втратили водотривкі шари, що їх розділяли, та знаходяться в гідравлічному взаємозв'язку один з одним (див. рис. 2).

Геолого-гідрогеологічні умови території НБС були детально вивчені київською геологічною експедицією в 1970-х роках у зв'язку з проведенням протизсувних заходів на схилах р. Дніпро [2]. В ході досліджень на ділянці було пробурено близько 50 свердловин, проведено дослідні та лабораторні дослідження ґрунтів і підземних вод, складено гідрогеологічну карту.

Аналіз результатів цих досліджень дозволяє зробити наступний висновок: приплив стічних вод у дренажну систему ділянки НБС здійснюється за рахунок підземних вод полтавського і харківського водоносних горизонтів.

Узагальнені гідрогеологічні показники цих горизонтів зведено в табл. 1. Як бачимо, горизонти характеризуються слабкими фільтраційними властивостями. Живлення горизонтів насамперед здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, а також перегікання з горизонтів флювіогляціальних пісків і морених суглинків плато. Мак-

симальні рівні встановлюються влітку, після весняного періоду спостерігається незначний їх підйом і спад до кінця року.

Мінералізація та хімічний склад підземних вод залежать від пори року. Так, у сезон танення снігів мінералізація підвищується. Тип води – гідрокарбонатно-магнієвий і хлоридно-кальцієвий. Вода придатна для господарсько-технічного призначення та неагресивна по відношенню до бетону.

**Результати експериментальних досліджень та пропозиції щодо використання стічних вод для потреб НБС.** Протягом 6 місяців нами проводилися режимні спостереження за дебітом і температурою підземних вод, що надходять в оглядовий колодезь СМК-1А, а також до режимних пунктів №1 і №2. Дебіти підземних вод вимірювались об'ємним способом. Температура підземних вод та зовнішнього повітря вимірювалась ртутним термометром.

Було встановлено, що до оглядового колодезя СМК-1А підземна вода надходить із двох порталів штольні №47 (портал №2 і №3), від опорної дренажної стіни, а також із малої протизсувної системи, розташованої у яру в безпосередній близькості від оглядового колодезя (див. рис. 2). Дренажні труби із вказаних об'єктів виводяться у збірний колодезь, де формується сумарна витрата стічних вод. Результати замірів для кожного джерела стічних вод наведені в таблиці 2 та зображені на рис. 3. і рис. 4.

Таблиця 1. Деякі характеристики основних водоносних горизонтів ділянки НБС [2]

Водоносний горизонт	Літологія	Глибина залягання, м товщина, м	Річна амплітуда коливань рівня, м	Коефіцієнт фільтрації, м/доб.	Мінералізація, г/л
Полтавський верхній неоген	дрібно- і середньозернисті піски	2,1-18,6 1,25-9,7	0,2-1,3	1-10	1-1,8
Харківський нижній палеоген	дрібнозернисті глинисті піски та супісок	3-31	0,3-1,5	0,1	до 1,5



Рис. 2. Геологічний розріз дренажної штольні №47 "Видубицька".

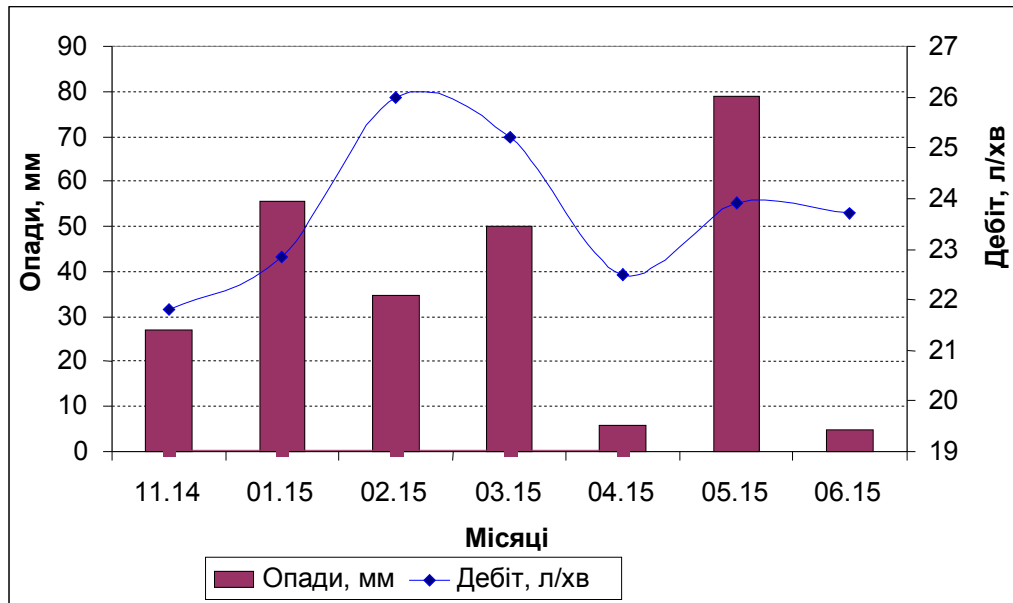


Рис. 3. Зміна витрат стічних вод в оглядовому колодязі СМК-1А та атмосферних опадів.

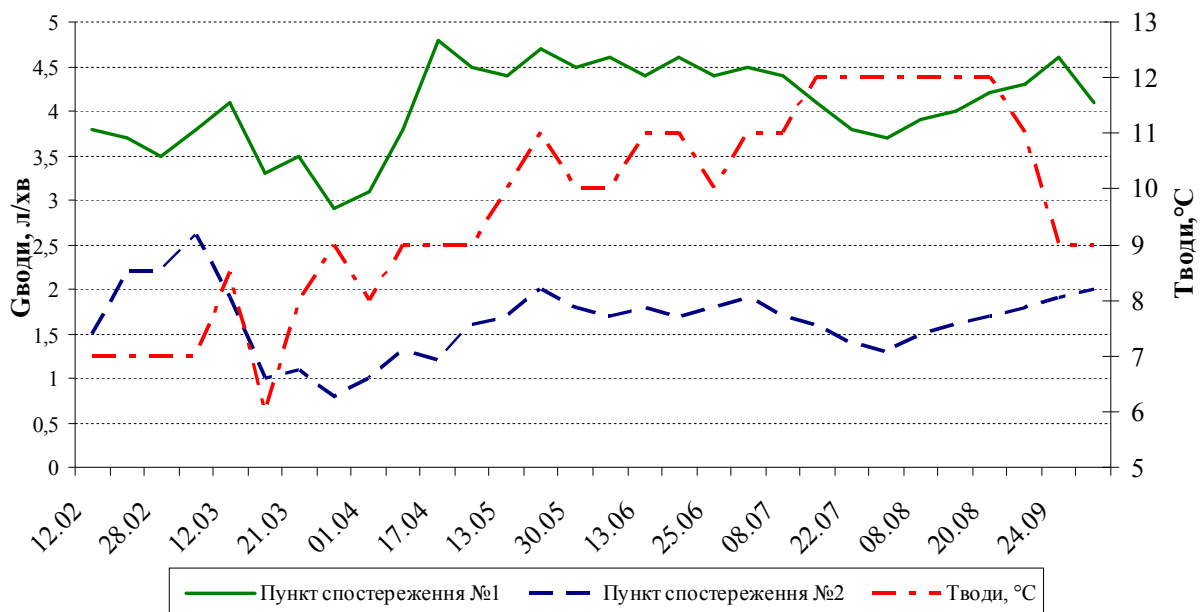


Рис. 4. Зміна витрат і температури стічних вод у спостережних пунктах №1 і №2.

Таблиця 2. Результати натурних досліджень в оглядовому колодязі СМК-1А

Дата	Дебіт, л/хв	Дебіт, л/хв				Температура зовнішнього повітря, °C	Температура стічних вод, °C
		ДШС №47, портал 2	ДШС №47, портал 3	Опорна стіна	Яр		
26.12.14	21,8	7,5	7,1	6,0	1,2	-2	+6
17.01.15	22,9	7,75	7,2	6,5	1,4	+4	+7
13.02.15	26,0	9,0	8,3	7,2	1,5	+3	+6
18.03.15	25,2	7,2	13,5	2,7	1,8	+4	+6
24.04.15	22,5	7,4	9,8	4,0	1,3	+22	+8
22.05.15	23,9	6,8	12,8	3,0	1,2	+28	+8,5
23.06.15	23,7	7,8	9,7	5,1	1,1	+29	+10

Таблиця 3. Результати натурних досліджень у пунктах спостереження №1 і №2

Дата	№ пункту	Температура стічних вод, °С	Температура зовнішнього повітря, °С	Дебіт, л/хв	Погода
12.02.14	2	7	3	3,8	без опадів (танення снігу); хмарно
				1,5	
25.02.14	1	7	2	3,7	без опадів; хмарно
	2	7	2	2,2	
28.02.14	1	7	5	3,5	без опадів; хмарно
	2	7	5	2,2	
06.03.14	1	7	4	3,8	дощ; хмарно
	2	7	4	2,6	
12.03.14	1	8,5	10	4,1	без опадів; ясно
	2	8,5	10	1,9	
18.03.14	1	6	8	3,3	сухо; мінлива хмарність
	2	6	8	1	
21.03.14	1	8	15	3,5	без опадів; ясно
	2	8	15	1,1	
26.03.14	1	9	17	2,9	без опадів; ясно
	2	9	17	0,8	
01.04.14	1	8	5	3,1	мокрый сніг; хмарно
	2	8	5	1	
09.04.14	1	9	19	3,8	невеликі опади; ясно
	2	9	19	1,3	
17.04.14	1	9	14	4,8	невеликі опади; ясно
	2	9	14	1,2	
25.04.14	1	9	18	4,5	без опадів; ясно
	2	9	18	1,6	
13.05.14	1	10	19	4,4	без опадів; ясно
	2	10	19	1,7	
20.05.14	1	11	23	4,7	без опадів; ясно
	2	11	23	2	
30.05.14	1	10	20	4,5	без опадів; хмарно
	2	10	20	1,8	
04.06.14	1	10	20	4,6	дощ; хмарно
	2	10	20	1,7	
13.06.14	1	11	23	4,4	без опадів; ясно
	2	11	23	1,8	
17.06.14	1	11	21	4,5	без опадів; хмарно
	2	11	21	1,9	
25.06.14	1	10	20	4,3	без опадів; ясно
	2	10	20	1,7	
04.07.14	1	11	21	4,3	без опадів; ясно
	2	11	21	1,3	
08.07.14	1	11	26	4,4	без опадів; ясно
	2	11	26	1,5	
15.07.14	1	12	26	4,1	без опадів; ясно
	2	12	26	1,6	
22.07.14	1	12	30	3,8	без опадів; ясно
	2	12	30	1,4	
29.07.14	1	12	32	3,7	без опадів; ясно
	2	12	32	1,3	
08.08.14	1	12	29	3,9	без опадів; ясно
	2	12	29	1,5	

Дата	№ пункту	Температура стічних вод, °С	Температура зовнішнього повітря, °С	Дебіт, л/хв	Погода
15.08.14	1	12	33	4	без опадів; ясно
	2	12	33	1,6	
20.08.14	1	12	28	4,2	без опадів; ясно
	2	12	28	1,7	
03.09.14	1	11	26	4,3	без опадів; хмарно
	2	11	26	1,8	
24.09.14	1	9	13	4,6	без опадів; хмарно
	2	9	13	1,9	
09.10.14	1	9	14	4,1	без опадів; ясно
	2	9	14	2	

Як відомо [3], баланс підземних вод у межах розрахункової ділянки складається з наступних складових: інфільтраційне живлення за рахунок атмосферних опадів; обсяг води, що надходить до водоносного горизонту із суміжних горизонтів; витoki із системи водопостачання та каналізації; поливи ґрунтових насаджень; транспірація рослинами; випаровування; поверхневий стік та розвантаження в балках і дренажних системах.

На жаль, у даний час врахувати всі складові балансу неможливо, тому що для цього необхідне створення спеціально обладнаного натурального полігону. Проте можна встановити залежність між величиною розвантаження водоносного горизонту в балках і дренажних системах дослідної ділянки та атмосферними опадами (рис. 5). Як

бачимо, цю залежність можна привести до лінійного вигляду. Коефіцієнт пропорційності дорівнює 0,017. Середній сумарний дебіт стічних вод, які потрапляють до СМК-1А, складає 23,7 л/хв.

Залучення стічних вод, що надходять із спостережних пунктів №1 і №2, дозволить збільшити сумарний приплив системи в середньому на 5 л/хв. Крім того, ремонт і очищення існуючих свердловин-фільтрів дренажної штольні №47, третина яких на даний час втратила свої функціональні властивості, додатково дадуть 2-3 л/хв.

На основі отриманих даних фактичних сумарних витрат стічних вод був запропонований варіант використання цієї води на потреби купольної оранжереї (КО) "Тропічний ліс" НБС ім. М.М.Гришка.

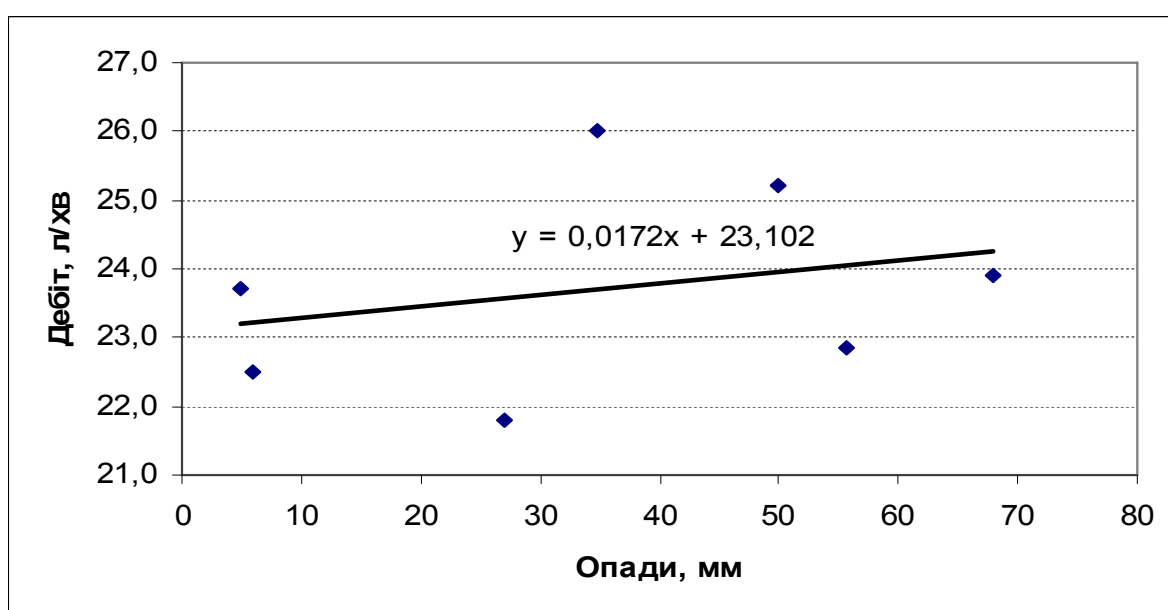


Рис. 5. Залежність сумарного припливу стічних вод в оглядовий колодязь СМК-1А від атмосферних опадів.

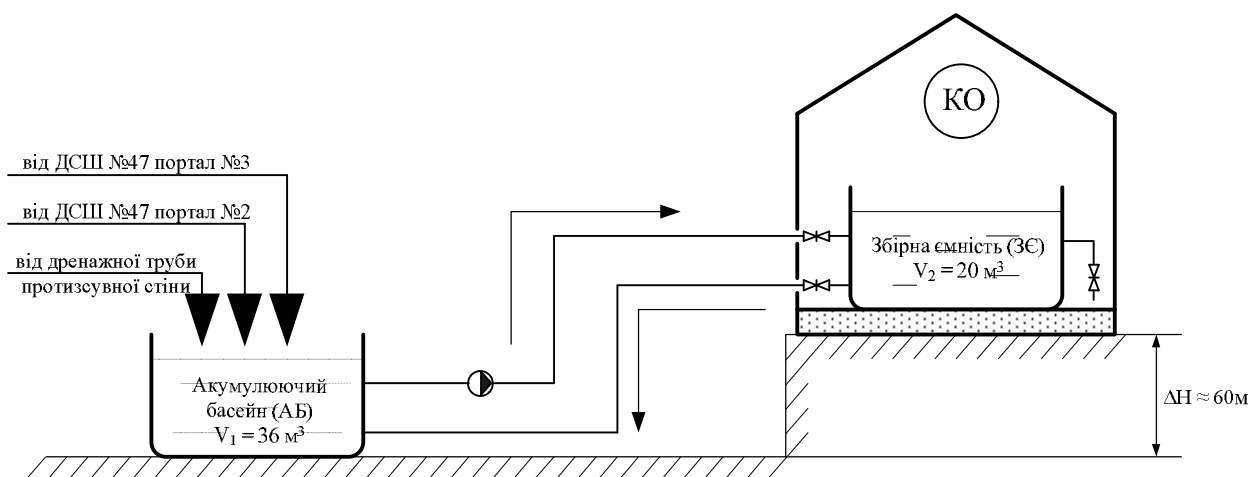


Рис. 6. Принципова схема подачі зібраної води з акумулюючого басейну до купольної оранжереї.

Для накопичування необхідної кількості води пропонується створення бетонного акумулюючого басейну (АБ) на базі оглядового колодязя СМК-1А. Середній кут нахилу схилу складає близько  $40^\circ$ . Перепад висот між відміткою підніжжя схилу та відміткою купольної оранжереї складає приблизно 60 м. Для підйому води з АБ до КО застосовується циркуляційний насос. Також необхідно прокласти водогін між АБ та КО загальною довжиною біля 950 м.

Проведено розрахунок об'ємів АБ та збірної ємності (ЗЄ) в залежності від потреби у воді купольної оранжереї. На схемі (рис. 6) наведено бетонний АБ, у який скидається стічна вода з ДШС №47 (портали №2 та №3) та з дренажної труби протизсувної стіни, а також пластикову ЗЄ у купольній оранжереї, з якої вода поступає для поливання рослин та забезпечення систем підтримання мікроклімату купольної оранжереї.

Для більш економічної роботи системи підйому води та застосування відновлюваних джерел енергії на привід циркуляційного насоса пропонується подавати електроенергію, яка буде вироблятися фотоелектричними сонячними панелями в комплексі з інвертором для перетворення напруги 12 В на 220 В та літєвими акумуляторами.

**Висновки.** 1. На території НБС НАНУ виявлено джерела стічних вод, хімічний склад та мінералізація яких відповідають вимогам, що пред'являються до вод господарсько-технічного

призначення. На даний час ці води скидаються в р. Дніпро. Пропонується використовувати їх для поливання тепличних і ґрунтових насаджень та забезпечення систем підтримання мікроклімату купольної оранжереї.

2. На основі експериментальних досліджень встановлено, що основною складовою стічних вод із дренажних споруджень НБС НАНУ є підземні води полтавського і харківського водоносних горизонтів. Спостерігається пряма залежність дебіту дренажних вод від атмосферних опадів із запізненням в середньому на місяць. На поверхневий стік припадає 15-20%.

3. За рік приплив дренажних вод в оглядовий колодязь СМК-1А у середньому становить  $13130 \text{ м}^3$ , що покриває 16,5% від кількості води, яку щорічно споживає НБС НАНУ.

4. Витрата стічних вод упродовж року носить сталий характер із незначними (до 20%) коливаннями в сторону збільшення у весняно-осінній період та в сторону зменшення на період спекотних літніх місяців.

5. Збільшити витрату системи можливо за рахунок залучення стічних вод спостережних пунктів №1 і №2, а також за допомогою ремонту дренажної штольної системи №47 "Видубицька".

6. Використання стічних вод поліпшить екологічні умови ділянки НБС НАНУ, зменшить кількість води, що розвантажується на схилах р. Дніпро, і тим самим зменшить зсувні явища.

1. Пархоменко Т.В. Звіт за результатами інженерно-геологічних вишукувань розробки протизсувних заходів на схилах Ботанічного саду ім. Гришка М.М. – К.: Проектний інститут "Укрспецтунельпроект", 2005. – Т. 187, 177.

2. Марчук Ю.М. Отчет по изучению современных экзогенных процессов на территории центральной и

северной области УССР. – К.: Киевская геологическая экспедиция, 1975. – 289 с.

3. Ситников А.Б. Гидрогеологическая станция "Феофания": многолетние исследования и результаты / А.Б. Ситников, Ю.Г. Головченко, К.Д. Ткаченко. – Киев: Институт геологических наук НАНУ, 2003. – 199 с.

УДК 621.577.2

О.В.Лисак (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ),

Є.О.Кулінко (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ)

### Перспективи використання відкритих поверхневих водойм для теплопостачання за допомогою теплових насосів

*У статті оцінено перспективи використання відкритих поверхневих водойм (ВПВ) у якості джерела теплової енергії для теплового насоса (ТН). Проаналізовано особливості ВПВ у якості джерела теплової енергії, розглянуто принципи схеми ТН, що використовують ВПВ, та наведено приклади їх впровадження як за кордоном, так і в Україні. Для демонстрації переваг використання ВПВ в якості джерела теплової енергії в порівнянні з повітрям було виконано розрахунки значень коефіцієнта трансформації ТН.*

**Ключові слова:** теплові насоси, теплові насоси типу "вода-вода".

*В статье выполнена оценка перспектив использования открытых поверхностных водоёмов (ОПВ) в качестве источника тепловой энергии для теплового насоса (ТН). Проанализированы особенности ОПВ в качестве источника тепловой энергии, рассмотрены принципиальные схемы ТН, использующих ОПВ, и приведены примеры их внедрения как за рубежом, так и в Украине. Для демонстрации преимуществ использования ОПВ в качестве источника тепловой энергии в сравнении с воздухом были выполнены расчёты значений коэффициента трансформации ТН.*

**Ключевые слова:** тепловые насосы, тепловые насосы типа "вода-вода".

**Вступ.** Сьогодні все більшого поширення набуває використання теплових насосів (ТН) для забезпечення потреб теплопостачання<sup>1</sup>. Цьому особливо сприяє сучасна тенденція до енергозбереження та екологічності.

Принцип енергозбереження при застосуванні ТН полягає в тому, що згідно теоретичного циклу їх роботи вони генерують більше теплової енергії, ніж споживають. Хоча фактичні значення коефіцієнта перетворення спожитої електричної енергії на теплову (COP<sup>2</sup>) є меншими за теоретичні внаслідок певних втрат, безпосереднє спалювання вугілля чи газу або пряме використання електроенергії буде менш ефективним (потребуватиме більшої первинної потужності), ніж застосування ТН для генерування тієї ж кількості теплової енергії.

Щодо екологічності, то виділяють дві основні переваги ТН.

По-перше, на відміну від газових та вугільних теплогенеруючих установок при застосуванні ТН відсутні продукти спалювання і, відповідно, не забруднюється навколишнє середовище в місці розташування ТН.

По-друге, якщо електроенергія, необхідна для роботи ТН, буде генеруватися шляхом спалювання вугілля чи газу на електростанціях, кількість продуктів спалювання буде меншою, ніж за прямого застосування вугільних та газових теплогенеруючих установок. Продукти спалювання внаслідок їх складу не тільки небезпечні для здоров'я людини, але й містять парникові гази, викиди яких пов'язують із глобальним потеплінням.

<sup>1</sup>В цій роботі розглядаються лише пароконденсійні ТН, які використовуються виключно для генерації теплової енергії. Робота даних ТН в режимі холодильної машини не розглядається.

<sup>2</sup>COP (англ.) – coefficient of performance: коефіцієнт перетворення; коефіцієнт трансформації.