

В.П. ХОРУЖИЙ, доктор технічних наук

Р.О. НІКОЛОВА

І.П. НЕДАШКОВСЬКИЙ, кандидат технічних наук

А.В. ВАСИЛЮК, кандидат технічних наук

Одеська державна академія будівництва і архітектури

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД В РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОНАХ

Проведено аналіз і порівняння існуючих методів водовідведення стічних вод (СВ) в Україні і пошук більш економічного і сучасного метода. На сьогоднішній день існують різні методи відведення СВ: гравітаційна, або самопливна каналізація, напірна та інші, які використовуються в містах країн колишнього СРСР. В ході вивчення сучасних зарубіжних методів було запропоновано вакуумну каналізацію, як перспективний і сучасний метод рішення проблеми відводу СВ. За цією системою майбутнє водовідведення, бо воно має незаперечні переваги не тільки технічного, економічного, але й екологічного характеру.

Ключові слова: пилкоподібний профіль, збірна камера, вакуумний клапан, перепад тиску, вакуумна каналізація.

Проведен анализ и сравнение существующих методов водоотведения сточных вод (СВ) в Украине. На сегодняшний день существуют разные методы отведения стоков: гравитационная или самотечная, напорная и другие, которые используются в странах бывшего СССР. В процессе изучения современных зарубежных методов была предложена вакуумная канализация, как перспективный современный метод решения проблемы водоотведения стоков. За вакуумной системой, будущее водоотведения, потому что оно имеет неоспоримые преимущества не только технического, экономического, но и экологического характера.

Ключевые слова: пилообразный профиль, сборная камера, вакуумный клапан, перепад давления, вакуумная канализация.

An analysis and comparison of existent methods of sewerage of effluents (SE) were conducted. Today there are different methods of diversion drains: self-flowing or gravity, pressurized and others that are used in the countries of the former USSR. In studying modern foreign methods was proposed a vacuum sewerage, a promising method for solving modern problems of waste water disposal. Unlike gravitational and pressure systems, vacuum works due to the overfalls of pressure in the system of pipes, that is due to creation of vacuum.

Key words: saw-tooth profile, the collection chamber, the vacuum valve,



Рис.1. Прибережна зона 8-а станція
Великого Фонтану м. Одеса

the pressure difference, the vacuum sewage.

У всьому світі практикується створення спеціальних територій, де жителі того чи іншого населеного пункту, а також його гості проводять години дозвілля. До таких територій належать рекреаційні зони. Тут відпочивають абсолютно всі верстви населення,

починаючи від найменших громадян і закінчуючи пенсійним віком.

Сьогодні, понад півмільйона відвідувачів щороку приїжджають до нашого міста і приміські райони відпочинку, щоб насолодитися морської красою. Однією особливістю даної місцевості є те, що тут можуть знаходитися різні об'єкти, в тому числі житловий фонд, інфраструктура, приватні будівлі, котеджи та інше. Нормальне функціонування рекреаційних зон неможливе без створення надійної та ефективної системи водовідведення.

Оскільки дані території розташовуються на рівнинній місцевості поблизу водойм та моря там присутній високий рівень залягання ґрунтових вод. Ці фактори ускладнюють, або роблять неможливим використовувати самопливні системи водовідведення.

Але в останні роки, забруднення навколишнього середовища, стічними водами, від котеджних будинків, розташованих уздовж прибережної зони, а також окремо розташованих сучасних комфортабельних будинків санаторіїв, досяг небезпечного рівня. Жителі, а також місцеві та державні чиновники, почали розуміти, що чудовий природний ресурс на межі зникнення, якщо ми не розглянемо питання про необхідність ефективної каналізації.

Велику зацікавленість викликають питання будівництва каналізації в малих населених пунктах, тому що вони чинять негативний вплив на навколишнє середовище, скидаючи неочищені стоки. У Європейських державах останніми роками було проведено багато міжнародних конференцій, які було присвячено цій проблемі [1,58].

У сучасних містах України влаштовують централізовану самопливну систему водовідведення, що складається з внутрішніх і зовнішніх водовідвідних мереж, насосних станцій та очисних споруд. У м. Вілково, розташованому в дельті річки Дунаю, порізаному струмками, річечками і іншими водотоками, практично немає каналізації. Мають місце: забруднення довкілля і постійні спалахи інфекційних захворювань через відсутність централізованої каналізації і можливості її влаштування, з-за плоского рельєфу місцевості і високого рівня ґрунтових вод (РГВ).

Цілі і завдання. Аналіз існуючих вітчизняних методів зовнішньої самопливної та напірної каналізації, та порівняння переваг і недоліків систем водовідведення. Вивчення наукової літератури і передових технологій, вітчизняних досягнень в галузі водовідведення і очищення СВ та економії водних ресурсів і енергозбереження за кордоном. Вивчення наукових результатів, отриманих теоретично чи експериментально і знаходження найбільш прийняттого фінансового і технічного рішення проблеми для конкретного об'єкту.

Вакуумна каналізація – це продукт передових технологій у Європейських державах в системах каналізації будівель, за яким майбутнє. Тому оволодіння методикою розрахунку і проектування даної системи є дуже важливим завданням на даному етапі. Не менш важливим є очищення цих стічних вод на компактних установках.

Об'єкти і методи дослідження. У статті розглядається комплексно питання водовідведення стічних вод в прибережних районах і рекреаційних зонах та їх повна біологічна очистка на модульній установці «Віяпласт», яка складається з анаеробного і аеробного біореакторів, а також контактної-освітлювальних фільтрів. В ході дослідження проведено аналіз останніх джерел досліджень і публікацій та порівняльну характеристику [2,89] і доведені всі переваги вакуумної каналізації, яка на сьогоднішній день є найбільш перспективною й економічною системою водовідведення у Європейських та інших країнах світу. Теоретичні дослідження проведені опираючись на існуючі новітні журнали, наукові статті і вивчення вітчизняної та зарубіжної літератури з метою з'ясування і доведення, які причини змушують двофазну рідину "повітря-вода" рухати і транспортувати стоки в трубах.

Новизна вакуумної каналізації полягає в тому, що транспортуючим засобом є не рідина, а повітря. З огляду на зростання тарифів на воду, економія водних ресурсів стає дуже актуальною проблемою, і її необхідно вирішувати. В Україні при будівництві спортивної арени «Олімпійська», у 2012 році було побудовано внутрішню вакуумну систему каналізації, і вона вже показала свої переваги. Це дійсно, інноваційне рішення внутрішньої каналізації на спортивних аренах, в супермаркетах, вищих навчальних закладах, аеропортах, залізничних вокзалах з великою прохідністю людей і дає економію 80% води.

Розглянемо самопливний метод. На перший погляд найпростіший, найдешевший і кращий метод за ідеальних умов місцевості. Але на практиці при його реалізації виникає ряд ситуацій, для вирішення яких його застосування зовсім виявляється неможливим, або призведе до значного подорожчання [3]. До таких ситуацій можуть належати:

– великі і дорогі обсяги земельних робіт та витрати палива, тому що згідно вимогам п. 8.4.3. табл. 6 [4,44] при проектуванні слід дотримуватися рекомендованих швидкостей, позитивного ухилу з постійним заглибленням всієї мережі до 6...7 м;

- з цієї ж причини великі діаметри труб, велика кількість оглядових колодязів, витрати бетону;
- водозниження при укладанні труб в місцевостях з високим стоянням РГВ – це дорогі роботи. До того ж вони тривають цілодобово увесь період будівництва і енерговитрати зростають;
- глибокі та широкі траншеї відображаються на інфраструктурі, роблячи протягом тривалого часу неможливим рух транспорту в зоні будівництва;
- значні витрати на упорядкування території будівництва після його закінчення;
- забруднення навколишнього середовища за рахунок ексфільтрації через застарілі керамічні та залізобетонні труби, котрі, як зазвичай, протікають. Це явище серйозний недолік.

Напірну каналізацію згідно влаштовують в тих випадках, коли через несприятливий ухил місцевості неможливо відвести СВ самопливом. Розрахунок напірних трубопроводів полягає у визначенні діаметрів труб і втрат напору за формулами гідравліки.

Але в ній є недоліки: Насосна станція – це основна споруда, яка споживає електроенергію і має значні експлуатаційні витрати. Іноді їх може бути декілька і працюють вони цілодобово 365 днів на рік. А на сьогоднішній день енергозбереження дуже актуальне.

У багатьох країнах світу вже протягом 40 років використовують вакуумну каналізацію.

Переваги вакуумної системи – це єдина альтернатива традиційної (самопливної) системи при складних умовах будівництва. Більш економічна і швидка установка в порівнянні з самопливною системою. Ідеальна для муніципальної, котеджної і індустріальної забудови.

Технологія відповідає Європейським стандартам EN 1091, DWA-ATV 116. Рекомендована багатьма Європейськими організаціями та інститутами. Замкнута система – без витоків і запаху складається: з збірної камери, вакуумних трубопроводів, вакуумної насосної станції, а також вакуумних резервуарів збору стічних вод та фекальних насосів, що перекачують СВ на очисні споруди (в нашому випадку на модульну установку «Віяпласт»).

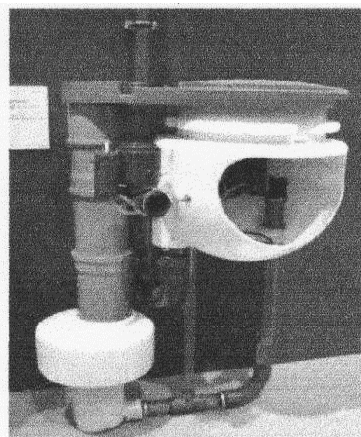


Рис.2.Збірна камера

Принцип дії: стічні води з кожного будинку самопливом потрапляють в збірну камеру (рис.2), встановлену поза будівлею, де відбувається їх накопичення. Приєднання труб від збірних камер до каналізаційного колектора слід виконувати під кутом більш 45° [5]. Коли рівень СВ у збірній камері досягає певного обсягу, відкривається клапан на 5...7 с, через нього в систему надходить повітря, яке витісняє стічну воду у вакуумну мережу. Найбільш ефективна і рентабельна зовнішня вакуумна каналізація для групи будинків не менше

100. Дана система є екологічно чистою і дуже ефективною.

У порівнянні з традиційною глибокою траншейною каналізацією, будівництво та монтаж вакуумної каналізації (рис.3) значно простіше і дешевше. У зв'язку з тим, що вакуумна система герметична, вона безпечніша для навколишнього середовища. Невеликий діаметр труб (80...250 мм), поліетилен або ПВХ. Неглибокі траншеї (1...1,2 м), трохи більше глибини промерзання ґрунту.

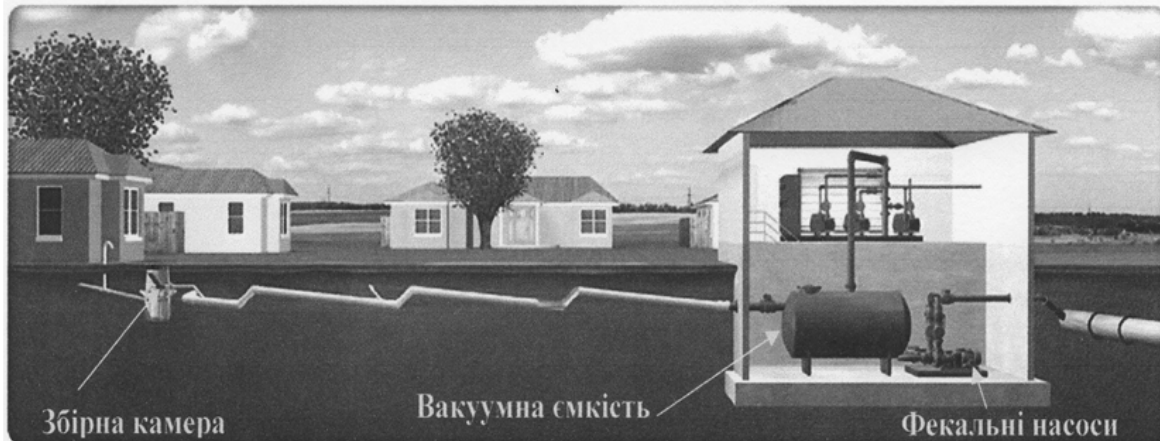


Рис.3. Схема вакуумної каналізації

Вакуумна система менш вимоглива до обслуговування та сервісної інфраструктури. Відсутній інфільтрат – немає забруднення навколишнього середовища.

В цій системі необхідна тільки одна вакуумна станція – не потрібно додаткових насосів. Висока швидкість (3...5 м/с) переміщення стоків у трубах запобігає їх закупорюванню, труби завжди чисті. Не вимагає підведення електрики до елементів системи, крім живлення центральної станції. Немає необхідності в каналізаційних оглядових колодязях.



Рис. 4. Пристрій ліфт-фітингу на трубопроводі

Вакуумні труби укладаються пилоподібним способом з ухилом не менш 0,002 з перериванням ухилу (рис. 4). Що дозволяє прокладати каналізацію по рельєфу місцевості на глибині трохи більше глибини промерзання. Вузькі і не глибокі траншеї дозволяють значно зменшити обсяги земляних робіт і вартість будівельно-монтажних робіт та витрату палива.

Крім того, витрати на експлуатацію вакуумної каналізації також значно нижчі. По-перше, через мале споживання води, а, по-друге, в силу того, що вакуумні насоси споживають у кілька разів менше електроенергії, ніж напірні.

Результати досліджень. У результаті порівняння трьох методів водовідведення СВ можна сказати, що аналіз витрат життєвого циклу показав, що вакуумна система водовідведення в рекреаційних зонах є найбільш доцільною.

За даних [1,59] запропонована методика розрахунку для систем вакуумної каналізації визначено початково: система працює ефективно, при співвідношенні газ-рідина $Q_g / Q_p = 0,3...0,4$ при використанні клапана певної конструкції, який являє собою пристрій для одночасного впуску води і повітря. Клапан працює автоматично в періодичному режимі в залежності від накопичення рідини в збірній камері. Відкриття клапана і закриття здійснюється за певною величиною вакууму в системі і гідростатичного тиску рідини перед ним. Коли відкривається впускний пристрій, відбувається одночасно забір рідини і повітря в певному співвідношенні і інтенсивний їх рух з швидкістю до 5 м/с по трубопроводу. Залежно від розміру повітряної трубки, по якій надходить повітря, регулюється водоповітряне співвідношення.

Максимальний перепад висот між крайнім абонентом мережі і вакуумною станцією не повинен перевищувати 4 м. До збірної камери допускається підключення не більше 4-х абонентів, а піковий потік в камері не повинен перевищувати 0,2 л/с, тобто обсяг збірної камери повинен бути не менше 200 л [5,22]. Якщо на вакуумному трубопроводі не встановлювати ліфт-фітинг, то потік повітря не захоплює стоки у повному обсязі, а проходить над ними (рис. 4), при цьому кількість повітря для транспортування стічної води буде дуже великим і відповідно збільшується витрата електроенергії. При встановленні ліфт-фітинга повітря витрачається тільки на транспортування стічної води.

Оскільки вакуумна каналізація повторює контур рельєфу місцевості, необхідно періодично повертати лоток трубопроводу на колишню позначку, щоб мати можливість прокласти трубопровід з ухилом. Для цього влаштовують ліфт-фітинги під 45° . Тому трубопровід набуває пилкоподібний профіль (рис. 5).

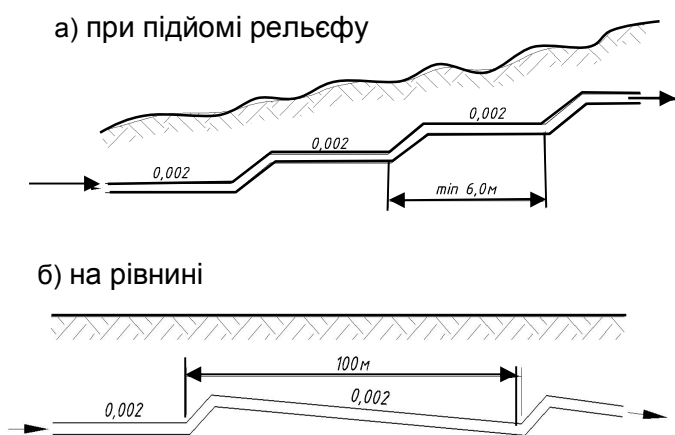


Рис. 5. Прокладання вакуумних труб

Крім того функцією ліфт-фітингів є також часткове накопичення стічної рідини до наступного відкриття клапана. У цей час рідина знаходиться в коліні (ліфт-фітингу) в стані спокою. Відстань між ліфт-фітингами не повинно перевищувати 100 м [5,23]. Якщо не влаштовувати ці ліфт-фітинги, то система не зможе працювати на великих відстанях, так як будуть втрати тиску і створити негативний

тиск вище 8 м проблематично, а в системі необхідно періодично відновлювати певну величину вакууму для подальшої роботи системи до –0,6 бар.

Типова вакуумна станція складається з однієї або двох вакуумних емкостей об'ємом від 5 до 27 м³, кількох фекальних насосів (1 робочий + 1 резервний) і пульта управління. Необхідний напір насосів визначається за формулою

$$H_{\text{нас}} = Z_{\text{ос}} - Z_{\text{р.ср.}} + h_{\text{нс}} + h_{\text{н}}, \quad (1)$$

де $Z_{\text{ос}}$ – позначка, на яку потрібно подавати стоки, м; $Z_{\text{р.ср.}}$ – відмітка рівня стічних вод у приймальному резервуарі, м; $h_{\text{нс}}$ – втрата напору у внутрішньостанційних трубопроводах (приймається 1,5...3 м); $h_{\text{н}}$ – втрати напору в напірному трубопроводі, м.

Необхідний обсяг (V_{tot}) вакуумного збірного резервуару визначається за формулою:

$$V_{\text{tot}} = 3W_{\text{рег}} + 1,5, \quad (2)$$

де $W_{\text{рег}}$ – об'єм рідини в збірному резервуарі, м³.

Фекальні насоси можуть стояти як окремо, так і всередині будівлі вакуумної станції. Співвідношення обсягу повітря і рідини в вакуумних каналізаційних системах має бути не менше: 4 частини повітря до 1 частини рідини на початку мережі (біля насосної станції) і 12 частин повітря до 1 частини рідини у найбільш віддаленого споживача.

Каналізаційні насоси для перекачування стічних вод зі збірного резервуара повинні бути розраховані згідно [5,24] за наступною формулою:

$$Q_{\text{нас}} = Q_{\text{max}} = Q_{\text{ном}} \cdot k, \quad (3)$$

де $Q_{\text{нас}}$ – продуктивність каналізаційного насоса, м³/год; Q_{max} – максимальна витрата насосної станції, м³/год; $Q_{\text{ном}}$ – середньодобова витрата, м³/год.

При плоскому рельєфі ступінчасті підйоми роблять через 165 м. Якщо рельєф йде в гору відстань між підйомами труби скорочується аж до мінімуму – 6,5 м. Основним завданням є оптимальний вибір відстані між перепадами (ліфт-фітингами) і правильний підбір діаметра трубопроводу, що в свою чергу скоротить втрати тиску в мережі [5,23]. Особливо ця система економічна при її використанні у прибережних рекреаційних зонах з плоским рельєфом місцевості.

Не менш важливим завданням системи водовідведення в рекреаційних зонах є очистка стічних вод та утилізація осаду, що утворюється в результаті очистки. Під час руху стічних вод у вакуумній системі каналізації можливі біологічні процеси, які знижують вміст органічних речовин і насичують воду киснем [6, 48].

$$\rho = \frac{XPK_1 - XPK_2}{t \cdot a_i (1 - s)} \text{ мг/г} \cdot \text{год}, \quad (4)$$

де, ρ – питома швидкість окислення, мг/г. год; XPK_1 , XPK_2 – перманганатна окислюваність до і після перебування в системі вакуумної каналізації, мг/л; t – час окислення, год; a_i – концентрація активного мулу, г/л; s – зольність активного мулу.

Згідно з розрахунками питома швидкість окислення ρ становить 58,5 мг/г-год [6,49]. З чого можна зробити висновок, що у вакуумній системі каналізації можливі біологічні процеси, які знижують вміст органічних речовин і насичують воду киснем. Тобто, в трубопроводах відбуваються анаеробні процеси окислення органічних речовин. Отже, мережа вакуумної каналізації може бути використана в якості споруди попереднього очищення стічних вод [6,49].

Повна біологічна очистка стічних вод може здійснюватись на установці «Віяпласт» (рис.6), яка складається з анаеробного і аеробного біореакторів, а також контактено-прояснювального фільтра [7, 442].

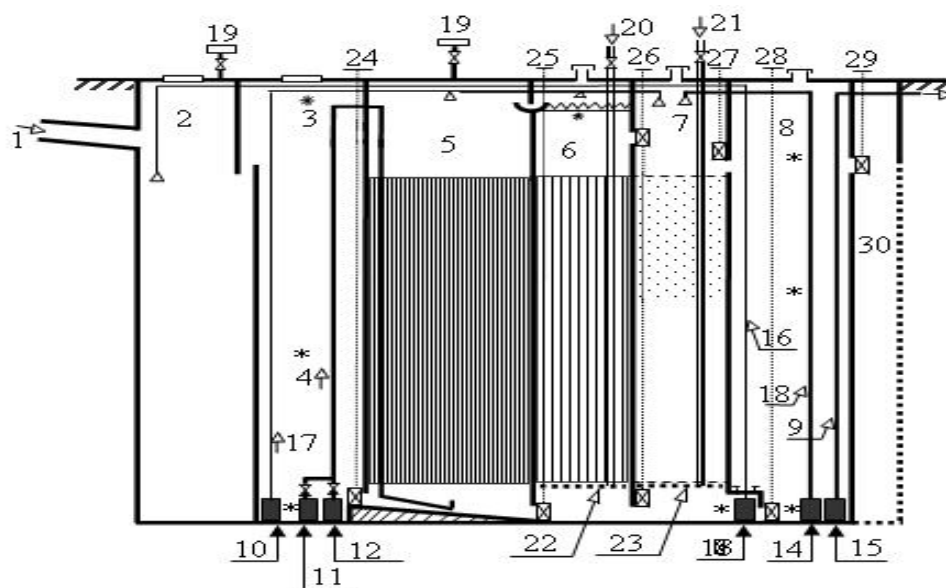


Рис.6. Установа «Віяпласт»

Стічна вода надходить у прийомний резервуар 2, звідки насосом 12 по трубопроводу 4 надходить на анаеробний біореактор з волокнистої завантаженням 5 і рухається в напірному режимі знизу вгору. У цьому біореакторі відбуваються анаеробні процеси біологічного очищення стічної рідини за допомогою анаеробних мікроорганізмів, прикріплених до ниток волокнистого завантаження, які натягуються між колосниковими ґратами.

Після анаеробного біофільтра стічна вода потрапляє в аеробний біореактор 6, в якому вона рухається зверху вниз через волокнисте завантаження. У цьому біореакторі подається знизу повітря від компресора на аератор 22, внаслідок чого у завантаженні інтенсивно протікають аеробні процеси біологічного очищення стічної рідини.

Біологічно очищена стічна вода після аеробного біореактора подається на контактено-прояснювальний фільтр 7 і рухається в ньому знизу вгору, проходячи підфільтровий простір і плаваюче пінополістирольне фільтрувальне завантаження. В контактено-прояснювальному фільтрі відбувається доочищення води, в якому приймають участь: завислий мул в підфільтровому просторі, зтиснутий шар мулу в нижніх шарах фільтрувального завантаження та біоплівка на гранулах пінополістиролу. Далі вода збирається в ємності для

збору очищеної води 8 і відводиться по трубопроводу 9 у розподільчу мережу для підґрунтового зрошення зелених насаджень, або для скидання у водойму. У другому випадку в резервуар 8 подається реагент для знезараження води.

Очищені стічні води доцільно використовувати для підґрунтового зрошення зелених насаджень в рекреаційній зоні або після доочищення та знезараження використовувати в якості технічної води, наприклад для мивання в бачках унітазів, мийки вулиць, тощо [8,314].

Висновки

1. В рекреаційних зонах доцільно використовувати вакуумну систему водовідведення, оскільки вона має незаперечні переваги не тільки технічного, економічного, але й екологічного характеру.

2. При транспортуванні стічних вод по трубопроводах вакуумної каналізації відбуваються анаеробні процеси окислення органічних речовин, що дозволяє зменшити час перебування стічних вод в анаеробному біореакторі та відповідно зменшити його розміри.

3. Очистку стічних вод доцільно здійснювати на очисних установках до показників, які дозволяють використовувати її для підґрунтового зрошення зелених насаджень в рекреаційних зонах, або в якості технічної води.

4. Модульна установка може розташовуватися поруч з вакуумної станцією завдяки своїй компактності і таким чином зменшується довжина водоводу, втрати напору в ньому і знижується напір фекальних насосів, внаслідок чого скорочується енергоспоживання.

Список літератури

1. *В.И. Нездойминов, Н.И. Григоренко.* Применение на практике модели расчета системы вакуумной канализации // Вестник БрГТУ, 2013. № 2(80): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология.

2. *Рацлавски Я. Я., Григоренко Н. И.* Экономическое сравнение прокладки вакуумной и самотечной систем канализации на примере ПГТ Новоамвросиевское Донецкой обл. /зб. тез доп. III Міжнар. конф. – Макіївка: ДонНАБА, 2012. С. 89–91 (розрахунок техніко–економічних показників).

3. *Коновалов О.* Вакуумная канализация – достойная альтернатива традиционной системы. «ЯМЯ – ИНЖИНИРИНГ», Санкт-Петербург, 2011 г. URL: www.estateline.ru/interviews/177/.

4. *ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ* Каналізація. Зовнішні мережі та споруди Основні положення проектування ДБН В.2.5–75:2013. [Чиний від 01-01-2014р.]. К.: «УкрНДІводоканалпроект», 2012. С.44.

5. *Стандарт* підприємства СП 32.13330.2012. «СП «СИСТЕМЫ НАРУЖНОЙ ВАКУУМНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ КОТТЕДЖНЫХ ПОСЕЛКОВ ГОРОДСКИХ И СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ» М.,2015. (27). С. 3–5; С. 22–23.

6. *В. И Нездойминов, Н. И. Григоренко.* Исследование возможности использования систем вакуумной канализации для окисления органических загрязнений // Вісник ДонНАБА. Будівлі та конструкції із застосуванням нових

матеріалів та технологій. Макіївка: ДонНАБА, 2012. №3(95). С. 48– 51 (дослідження аераційних та біологічних процесів у системах вакуумної каналізації).

7. Хоружий В.П., Недашковський І.П. Ефективність біологічної очистки стічних вод на установці з використанням капронових ниток типу «ВІЯ» і пінопласту // Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА, 2009. Вип.52. С.441–444 (автором зроблено аналіз ефективності очистки стічних вод запропонованою технологією).

8. Недашковский И.П. Очистка сточных вод малых населённых пунктов на фильтрах с волокнисто–пенопластовой загрузкой // Вісник ОДАБА. Одеса: 2009. вип.36. С. 308 – 314.

Надійшло до редакції 3.11.2016