

12. Visweswara Sastry Dhara, Sunil kumar. K, Vimala A. Experimental investigation on mechanical and durability properties of concrete with plastic waste. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018, № 7 (3.35), pp. 32-36
13. Sjah J., Chandra J., Rastandi J.I., Arijoeni E. The effect of usage of crushed polypropylene plastic waste in mechanical properties of concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 2018, Vol. 9, Issue 7, pp. 1495-1505. Available at: www.iaeme.com/ijciyet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=9&IType=7
14. Lasco J. D. D., Madlangbayan M. S., Sundo M. B. Compressive strength and bulk density of concrete hollow blocks (CHB) with polypropylene (PP) pellets as partial replacement for sand. *Civil Engineering Journal*, 2017, Vol. 3, № 10, pp. 821-830. Available at: [dx.doi.org/10.28991/cej-030917](https://doi.org/10.28991/cej-030917)
15. Sreenath S., Harishankar S. Effect of partial replacement of fine aggregate in concrete with low density polypropylene. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 2016, Vol. 7, Issue 6, pp. 635-640. Available at: https://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET_07_06_070.pdf

Nikichanov V. V., Chaplianko S. V. APPLICATION OF POLYPROPYLENE IN TECHNOLOGY OF CONCRETE MANUFACTURING. Have been executed review and analysis of foreign studies aimed at solving the issue of plastic waste in the form of polypropylene application in technology development of mortar and concrete for various purposes manufacturing.

Only ecological efficiency has been shown in cases of introduction:

- aggregates of 2×3 mm polypropylene in the amount of 0,68 % instead of sand`s part into medium strength concrete mix;
- aggregates of 2-5 mm polypropylene instead of sand`s part (5 %) into concrete mix grade M40.

Partial technological efficiency has been shown in cases of introduction:

- pellets of 3×5 mm polypropylene instead of sand`s part (10 %) into «ordinary» concrete (an increase in slump value and splitting tensile strength at break with a simultaneous decrease in compressive and flexural strength have been noted);

- polypropylene fibers with a length of 50 mm instead of cement`s part (1,78 % by weight) into reinforced mortar (an increase in the tensile strength with a simultaneous decrease in compressive strength have been noted);

- fragments of 3-25 mm polypropylene in an amount of 0,2 vol.% in the composition of «ordinary» concrete (an increase in split tensile and shear strength at break with a simultaneous decrease in flexural strength have been noted).

Full technological efficiency has been shown in cases of introduction:

- sand-coated polypropylene pieces 10×20×20 mm in an amount of 17 wt.% into lightweight concrete (an increase in splitting tensile strength have been noted);
- polypropylene pellets with the fines modulus 4.86 instead of sand`s part (10 %) into concrete hollow blocks (an increase in compressive strength and a decrease in bulk density have been noted);
- granules of < 4,75 mm polypropylene instead of sand`s part (10%) into concrete mix grade M25 (an increase in the split tensile, flexural and compressive strength have been noted).

The obtained results indicate feasibility, effectivity (technological, economic and ecological) and prospectivity of using polypropylene plastic waste in concrete technology manufacturing.

Key words: plastic waste, polypropylene, concrete, water/cement ratio, slump, density, strength.

doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-156-166

УДК 624.151.2

Болотських М.С, Болотських М.М.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: tgvtver@gmail.com;
orcid.org/000-0003-0756-7264, orcid.org/000-0002-7756-6550)*

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОЧОГО РЕЖИМУ ВОДОЗНИЖУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ПУВВ-5МЕА В РІЗНИХ УМОВАХ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ

Наведено загальний вигляд, опис та основні характеристики універсальної установки локального вакуумного водозниження ПУВВ-5МЕА, описані найбільш характерні принципові схеми водозниження з використанням цієї установки при будівництві та експлуатації заглиблених і підземних об'єктів, отримані основні залежності і розрахункові формули для визначення ефективності робочого режиму установки в різних умовах її застосування.

Ключові слова: установка вакуумного водозниження, поліструйний насос, робочий режим, іглофільтри, приводна станція.

Вступ. При будівництві і експлуатації заглиблених і підземних об'єктів різного призначення, розташованих в обводнених і слабостійких ґрунтах, в тому числі з поганими фільтраційними властивостями, в світовій практиці широко використовується локальне вакуумне водозниження з допомогою різних установок [1-7]. Ці установки в більшості випадків забезпечують надійне і порівняно швидке локальне водозниження. Але, незважаючи на це, доводиться констатувати те, що більшість з них мають досить великі габаритні розміри і масу, маломаневрені і енергоємні. І, нарешті, вони не універсальні. Для ведення водознижувальних робіт при будівництві заглиблених або підземних об'єктів доводиться застосовувати різні по конструкції установки.

З метою максимального виключення перерахованих вище недоліків в ХНУБА на базі проведених багаторічних теоретичних і експериментальних досліджень і проектно-конструкторських робіт створена універсальна установка локального вакуумного водозниження ПУВВ-5МЕА з автоматизованою системою управління [8, 9]. Ця установка успішно пройшла численні промислові випробування і в даний час успішно використовується при будівництві та експлуатації різних об'єктів водовідведення [10, 11], водопостачання, метрополітенів і т. д. Проведені випробування і накопичений досвід її експлуатації показали, що універсальна установка ПУВВ-5МЕА в даний час є однією з найбільш досконалих технічних засобів локального вакуумного водозниження в дрібнозернистих ґрунтах з малими коефіцієнтами фільтрації. У порівнянні з існуючими аналогами вона є універсальною, менш металоемкою, має значно менші габаритні розміри, надійна і зручна в експлуатації. Крім того, застосування частотного регулювання електропривода в установці ПУВВ-5МЕА дозволяє автоматично налаштувати її роботу на найбільш економний режим в відповідно до реальних умов, що мають місце при приведенні водознижувальних робіт, і скорочувати витрати електроенергії на локальне водозниження приблизно на 30%.

Безумовно, на різних об'єктах гідрогеологічні умови і схеми водозниження із застосуванням установки ПУВВ-5МЕА дуже часто істотно відрізняються. У зв'язку з цим велими важливо знати яка ефективність робочого режиму установки в різних умовах її застосування.

Ця стаття присвячується розгляду низки аспектів цієї проблеми.

Метою цієї статті є аналіз найбільш характерних схем водозниження з використанням установки ПУВВ-5МЕА і отримання аналітичних залежностей для розрахунку ефективності робочого режиму в різних умовах її застосування.

Результати досліджень. Основною конструктивною особливістю універсальної установки локального вакуумного водозниження з автоматизованою системою управління ПУВВ-5МЕА (рис. 1) є використання в ній поліструменевого насоса, що має більш високі робочі параметри і значно менші габаритні розміри в порівнянні з вживаними в водознижувальних установках водоструменевими насосами з центральним розташуванням насадка (одноструменевими насосами) [9].

Доцільність використання поліструменевих насосів в установках вакуумного водозниження теоретично була доведена раніше в роботі [4]. Поліструменевий насос [9] представляє собою блок, що складається з чотирьох однакових одноструменевих насосів, об'єднаних загальним корпусом і мають одну спільну приймальну камеру. При цьому кожен одноструменевий насос має свої насадки, конфузори, змішувальні камери і дифузори. Подача робочої рідини до всіх насадок здійснюється за допомогою спеціального блоку, сполученого з відцентровим насосом, а відведення змішаного (робочого і підсмоктувального) потоку води від всіх одноструменевих насосів в циркуляційний бак по єдиному трубопроводу.



Рис. 1. Загальний вигляд установки ПУВВ-5МЕА: 1 - приводна станція; 2 - лінійна всмоктувальна система з іглофільтрами; 3 - зливна лінія.

Приводна станція установки ПУВВ-5МЕА укомплектована відцентровим насосом типу КМ 100-80-160/2-5, який подає до поліструйного насосу робочу воду. Його продуктивність дорівнює $60 \div 115 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $36 \div 30 \text{ м}$, а встановлена потужність двигуна – 15 кВт. Установка забезпечує максимальну продуктивність по воді до $60 \text{ м}^3/\text{год}$. Габаритні розміри приводної станції (довжина \times ширина \times висота) складають $1460 \times 400 \times 1510 \text{ мм}$, а маса 392 кг.

З метою зниження фактичних витрат електроенергії на водозниження, підвищення надійності в роботі і спрощення в обслуговуванні в установці ПУВВ-5МЕА використовуються регульований електропривід відцентрового насоса за допомогою перетворювача частоти типу Lenze 8200 ESMD 113 L4TXA і відповідні елементи автоматизації її управління. За рахунок цього споживана потужність електродвигуна відцентрового насоса при експлуатації установки ПУВВ-5МЕА в різних умовах знаходиться в межах від 6,2 до 12,5 кВт.

Для розширення сфери застосування установки ПУВВ-5МЕА, додання їй більшої універсальності, конструкція її приводної станції виконана з окремих блоків, що дає можливість розміщувати поліструменевий насос як безпосередньо в самій приводній станції, так і окремо в котловані, шахті або забої споруджувальної підземної виробки біля всмоктуючої системи з іглофільтрами. Для забезпечення можливості такого монтажу поліструменевого насоса установка комплектується додатковими сполучними трубопроводами з відводами і лінійним або зосередженим (забойний варіант) водозбірним колектором. Це робить установку універсальною, так як тепер її можна ефективно використовувати для локального водозниження як з поверхні землі, так і в котлованах, шахтних стовбурах і в різних інших підземних виробках. На підставі досягнутих результатів промислових випробувань можна стверджувати, що установки ПУВВ-5МЕА і подібні до них мають досить хороші перспективи подальшого їх застосування.

Представляє безперечний науковий і практичний інтерес розглянути більш детально ряд найбільш характерних схем водозниження за допомогою установки ПУВВ-5МЕА при будівництві та експлуатації різних заглиблених і підземних об'єктів, розташованих в обводнених і слабостійких ґрунтах.

Вище було вказано на те, що універсальна установка ПУВВ-5МЕА на різних об'єктах може монтуватися за двома варіантами:

1) відцентровий і поліструменевий насоси разом з циркуляційним баком і рамою, що представляють собою єдиний агрегат (приводну станцію), приєднуються за допомогою гнучкого резино-тканинного рукава до всмоктувальної системи установки (водозбірному колектору разом з іглофільтрами);

2) відцентровий насос разом з циркуляційним баком і рамою монтуються в одному місці, зазвичай на поверхні землі, а поліструменевий - в іншому, поряд з всмоктуючою системою установки. За допомогою трубопроводів він приєднується до відцентрового насоса і циркуляційного баку.

Перший варіант монтажу установки ПУВВ-5МЕА дуже часто використовується при спорудженні неглибоких котлованів і траншей (до 7 м). У цих випадках приводна станція і водозбірний колектор (зазвичай лінійний) монтуються на поверхні землі, а іглофільтри занурюються в ґрунт відповідно до прийнятої на об'єкті схемою водозниження (однорядною або дворядною) [9]. Принципова схема роботи установки в цьому випадку показана на рис. 2.

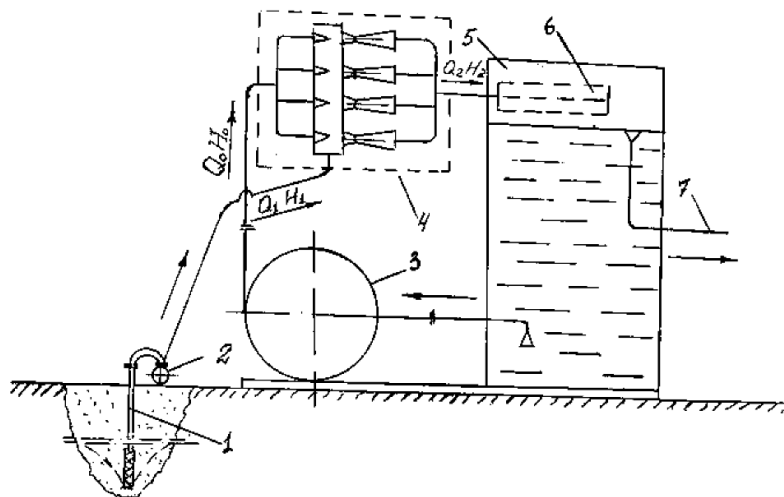


Рис. 2. Принципова схема роботи ПУВВ-5МЕА при розташуванні блоку поліструменевого насоса безпосередньо в приводній станції: 1 - іглофільтр; 2 - всмоктуючий водозбірний колектор; 3 - відцентровий насос; 4 - блок поліструйного насоса; 5 - бак циркуляційний; 6 - дефлектор; 7 - скидна лінія.

На цій схемі прийняті наступні позначення: Q_1 - об'єм води, який підсмоктується поліструменевим насосом з обводненого ґрунту забою; Q_0 - об'єм води, що подається відцентровим насосом до насадок поліструменевого насоса; Q_2 - загальний об'єм змішаного потоку води; H_0 - вакуумметрична висота всмоктування поліструменевого насоса; H_2 - напір робочої рідини перед насадками поліструменевого насоса; H_1 - напір змішаного потоку при виході з поліструменевого насоса.

Перший варіант монтажу водознижувальної установки використовується також і при спорудженні підземних об'єктів (каналізаційних колекторів, тунелів, камер і т.д.) в обводнених і слабостійких ґрунтах. У цих випадках приводна станція установки монтується безпосередньо в підземній виработці поблизу шахтного стовбура або на деякій відстані від забою споруджуємої виробки. Принципова схема забійного водозниження за допомогою установки ПУВВ-5МЕА при спорудженні горизонтальної виробки показана на рис. 3 [9].

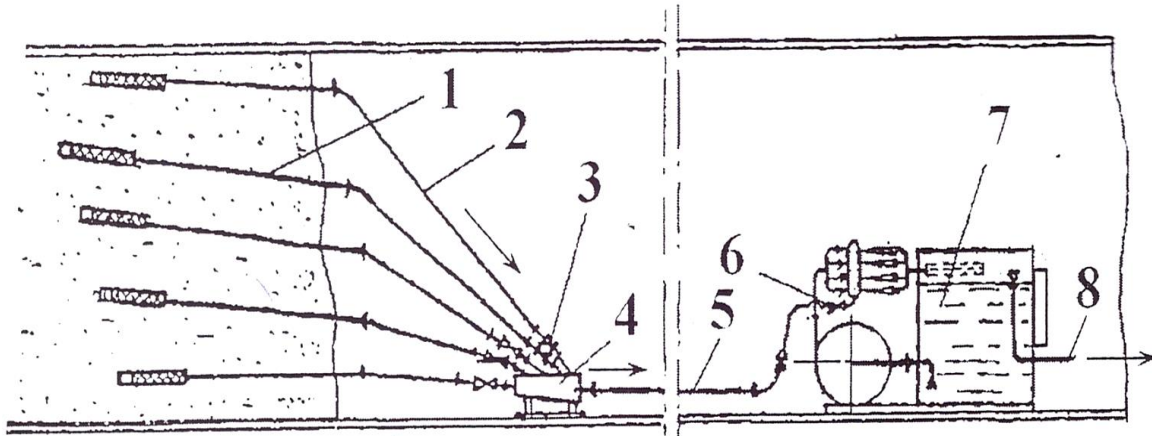


Рис. 3. Принципова схема розташування основних елементів установки ПУВВ-5МЕА при водозниженні в забої споруджуємої горизонтальної підземної виробки:
1 - іглофільтр; 2 - резино-тканинний рукав; 3 - запірний кран; 4 - зосереджений водозбірний колектор; 5 - з'єднувальний рукав; 6 - засувка; 7 - приводна станція установки; 8 - зливна лінія.

Відповідно до цієї схеми в обводнений ґрунт забою виробки занурюють необхідну кількість іглофільтрів. За допомогою резино-тканинних рукавів вони підключаються до зосередженого всмоктуючого водозбірного колектора. За рахунок вакууму, створюваного поліструменевим насосом у всмоктувальній системі, здійснюється осушення ґрунтів в забої. Необхідна кількість забійних іглофільтрів і глибини їх занурення зазвичай визначаються на місці ведення водознижувальних робіт дослідним шляхом.

При спорудженні глибоких котлованів, а також вертикальних і похилих виробок (наприклад, шахтних стовбурів) в обводнених і слабостійких ґрунтах водознижувальна установка ПУВВ-5МЕА монтується за другим варіантом, при якому поліструменевий насос монтується на дні котловану або шахти поруч з всмоктуючою системою, а відцентровий насос разом з циркуляційним баком і рамою - на поверхні землі. На рис. 4 приведена принципова схема водозниження за допомогою установки ПУВВ-5МЕА при спорудженні котловану [13].

При такій компоновці установки поліструменевий насос забезпечує не тільки зниження рівня ґрунтових вод на глибину до 7 м від дна котловану, а й подачу підсмоктуваної з ґрунту води на висоту до 12 м в циркуляційний бак. При цьому в залежності від розмірів котловану, характеристики ґрунтів і розташування рівня ґрунтових вод водозбірний лінійний всмоктуючий колектор може бути змонтований по одно- або дворядній та кільцевій (контурній) схемі.

Представляє безперечний інтерес розгляд схем застосування цієї установки для цілей забійного водозниження при спорудженні похилих виробок в складних гідрогеологічних умовах. При спорудженні похилих виробок, особливо малих перетинів, ця водознижувальна установка може знайти достатньо широке застосування. При цьому схеми монтажу установки і відкачування води на поверхню в залежності від протяжності та кута нахилу виробки можуть бути різними. Основними з них є дві: 1) з розміщенням відцентрового насоса і циркуляційного бака на поверхні, а поліструменевого насоса разом із зосередженим водозбірним колектором і іглофільтрами безпосередньо в забої споруджуємої похилої виробці; 2) з розміщенням відцентрового насоса і циркуляційного бака всередині споруджуємої виробки і використанням додаткового перекачаного насоса для відкачування води на поверхню. З точки зору зручності, надійності та ефективності в експлуатації найбільш раціональною являється перша схема (без перекачаного насоса), представлена на рис. 5 [11].

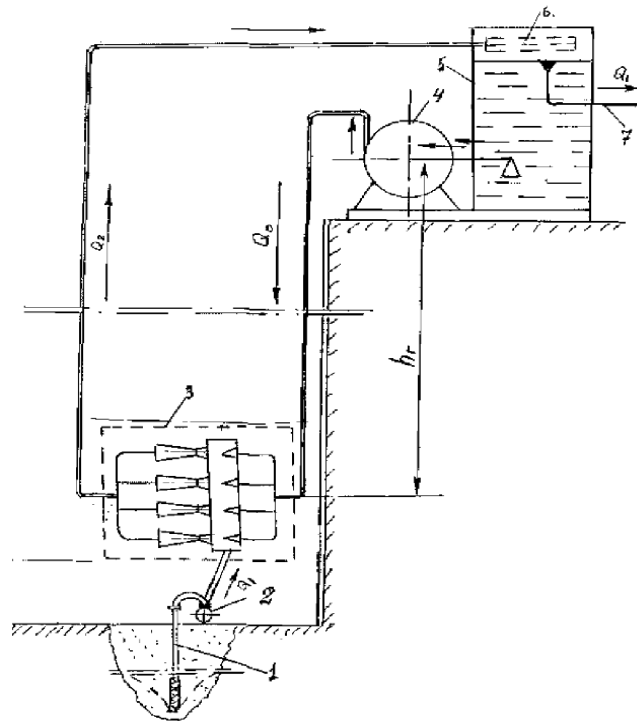


Рис. 4. Принципова схема водозниження за допомогою установки ПУВВ-5МЕА з розміщенням блоку поліструменевого насоса на дні котловану:

1 - іглофільтри; 2 - всмоктуючий водозбірний колектор; 3 - блок поліструменевого насоса (на схемі, для наочності, представлений в збільшеному масштабі); 4 - відцентровий насос; 5 - циркуляційний бак; 6 - дефлектор; 7 - скидний трубопровід.

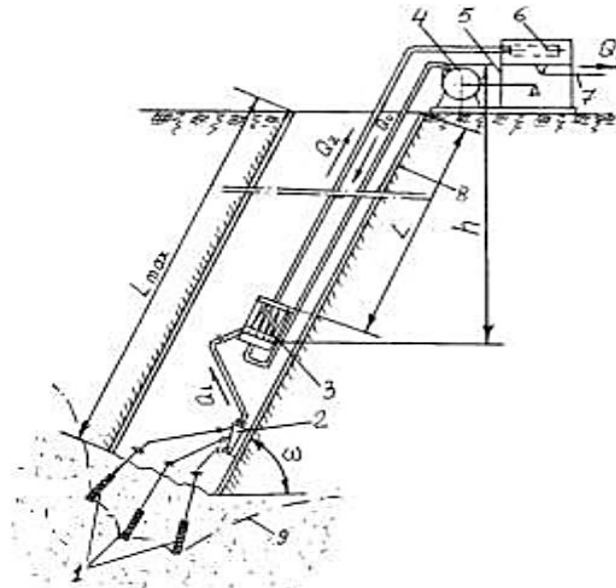


Рис. 5. Принципова схема забійного вакуумного водозниження за допомогою установки ПУВВ-5МЕА при спорудженні похилої виробки з розміщенням відцентрового насоса і циркуляційного бака на поверхні землі, а поліструменевого насоса разом з водозбірним колектором і іглофільтрами безпосередньо в забої: 1 - іглофільтри разом з надфільтровими трубами; 2 - водозбірний колектор; 3 - блок поліструменевого насоса; 4 - відцентровий насос; 5 - циркуляційний бак; 6 - дефлектор; 7 - скидний трубопровід; 8 - кріплення споруджуємої похилої виробки; 9 - депресійна крива (рівень ґрунтових вод в забої виробки при роботі установки вакуумного водозниження).

Відповідно до цієї схеми поліструменевий насос забезпечує не тільки підсмоктування води з ґрунту забою, а й відкачування її на поверхню. Подача води до поліструменевого насоса і видача її на поверхню здійснюється при цьому по трубопроводах, які періодично нарощуються слідом за просуванням забою.

Ефективність робочого режиму установки ПУВВ-5МЕА в описаних вище схемах її застосування, безумовно, неоднакова. Тому представляє безперечний інтерес розглянути більш детально ці відмінності.

Перш за все зазначимо, що критерієм ефективності робочого процесу цієї установки є її коефіцієнт корисної дії. У загальному випадку К.К.Д. цієї установки визначається за виразом

$$\eta_{\text{уст.}} = N'/N'' \quad (1)$$

де N' - потужність корисно використана установкою для підсмоктування з обводненого ґрунту води і подачі її в циркуляційний бак; N'' - потужність, споживана електроприводом робочого відцентрового насоса, що входить до складу приводної станції установки.

В установці ПУВВ-5МЕА передбачений блок поліструменевого насоса, що включає в себе 4 однакових одноструменевих насоса. В принципі ж в установках такого типу можуть використовуватися блоки поліструменевих насосів і з іншою кількістю одноструменевих насосів з різними геометричними параметрами. У зв'язку з цією обставиною розглянемо спочатку поставлену задачу в загальному вигляді. При цьому приймаємо, що блок поліструменевого насоса включає в себе i одноструменевих насосів. У цьому випадку потужність, корисно використана установкою, може бути представлена формулою

$$N' = \rho_0 \cdot g \cdot Q_{01} \cdot H_0 \cdot \eta_1^0 + \rho_0 \cdot g \cdot Q_{02} \cdot H_0 \cdot \eta_2^0 + \rho_0 \cdot g \cdot Q_{03} \cdot H_0 \cdot \eta_3^0 + \dots + \rho_0 \cdot g \cdot Q_{0(i-1)} \cdot H_0 \cdot \eta_{i-1}^0 + \rho_0 \cdot g \cdot Q_{0i} \cdot H_0 \cdot \eta_i^0 \quad (2)$$

де ρ_0 – щільність робочого потоку води; g – прискорення вільного падіння; $Q_{01}, Q_{02}, \dots, Q_{0i}$ – відповідно, витрати робочої рідини через насадки 1,2,3,... i -го одноструменевого насоса; H_0 – напір робочого потоку води перед насадками одноструменевих насосів (для всіх насосів $H_0 = \text{const}$); $\eta_1^0, \eta_2^0, \dots, \eta_i^0$ – відповідно, коефіцієнти корисної дії 1,2, ..., i -го одноструменевого насоса (в загальному випадку приймаємо, що всі одноструменеві насоси мають різні геометричні параметри, тому $\eta_1^0 \neq \eta_2^0 \neq \dots \neq \eta_i^0$).

Потужність, споживана приводом робочого відцентрового насоса, визначається за формулою

$$N'' = \rho_0 \cdot g \cdot Q_0 \cdot H_n / \eta_n \quad (3)$$

де $Q_0 = Q_{01} + Q_{02} + Q_{03} + \dots + Q_{0i} = \sum_{i=1}^n Q_{0i}$ - сумарна витрата робочої рідини через всі насадки одноструменевих насосів, що входять в блок поліструменевого насоса; H_n – напір, створюваний відцентровим насосом; η_n – коефіцієнт корисної дії відцентрового насоса.

Підставляючи вирази (2), (3) в (1) і зробивши деякі перетворення, отримуємо

$$\eta_{\text{уст.}} = \eta_n \frac{H_0(Q_{01}\eta_1^0 + Q_{02}\eta_2^0 + \dots + Q_{0(i-1)}\eta_{i-1}^0 + Q_{0i}\eta_i^0)}{Q_0 \cdot H_n} \quad (4)$$

В установці ПУВВ-5МЕА всі чотири однакових по конструкції одноструйних насоса розміщені паралельно в блоці поліструйного насоса. Їх діаметри насадок і інших елементів проточної частини, а також коефіцієнти корисної дії також однакові, тобто $d_{01} = d_{02} = \dots = d_{0i}$ і $\eta_1^0 = \eta_2^0 = \dots = \eta_i^0$. В цьому випадку при однаковому напорі робочої води (H_0) перед усіма насадками одноструйних насосів $Q_{01} = Q_{02} = \dots = Q_{0i}$. При цьому вираз (4) після деяких перетворень набуває вигляду

$$\eta_{yct} = \eta_n \frac{H_0 \cdot i \cdot Q_{0i} \cdot \eta_i^0}{Q_0 \cdot H_n}, \quad (5)$$

де i – кількість одноструйних насосів, що входять в блок поліструйного насоса. З огляду на те, що $i \cdot Q_{0i} = Q_0$, вираз (5) може бути записано у вигляді

$$\eta_{yct} = \eta_n \frac{H_0}{H_n} \cdot \eta_i^0 \quad (6)$$

При розташуванні блоку поліструйного насоса в установці ПУВВ-5МЕА (рис. 2 і 3) поряд з відцентровим насосом $H_0 = H_n$. В цьому випадку загальний ККД установки буде визначатися за формулою

$$\eta_{yct} = \eta_n \cdot \eta^0, \quad (7)$$

де η_n – ККД відцентрового насоса, який визначається зазвичай за його характеристичним кривим; η^0 – ККД одноструйного насоса.

Коефіцієнт корисної дії одноструйного насоса, що входить в блок поліструйного, визначається за виразом [12]

$$\eta^0 = \frac{\lambda(1+\lambda)}{(1+\xi_n)(1+\lambda)} \left[2 \frac{1+\lambda}{m} - X \left(\frac{X \cos \psi}{n} - \frac{1+\lambda}{m} \right)^2 - (1 + \Sigma \xi + X \Sigma \xi) \left(\frac{1+\lambda}{m} \right)^2 \right], \quad (8)$$

де $X = \frac{Q_1}{Q_0}$ – об'ємний коефіцієнт підсмоктування; Q_1 – об'ємна витрата підсмоктуючого потоку води; Q_0 – об'ємна витрата робочого потоку води; $\lambda = \frac{H_1}{H_0}$ – коефіцієнт розрідження одноструйного насоса; H_1 – розрідження в приймальній камері одноструменевого насоса; H_0 – напір робочого потоку води перед насадком; $m = \left(\frac{d_2}{d_0} \right)^2$ – перший (основний) геометричний параметр одноструйного насоса; d_2 – діаметр камери змішувача одноструменевого насоса; d_0 – діаметр насадка; $n = \left(\frac{d_1}{d_0} \right)^2$ – другий геометричний параметр одноструменевого насоса; d_1 – діаметр патрубку при вході підсмоктуємого потоку в приймальну камеру; ξ_n – коефіцієнт опору насадка; $\Sigma \xi$ – загальний коефіцієнт опорів конфузора, змішувальної камери і дифузора; ψ – кут входу підсмоктувального потоку в приймальну камеру.

У поліструйного насоса розрідження в приймальній камері (H_0) і, відповідно, коефіцієнт розрідження (λ) мають однакову величину як і у всіх вхідних в нього одноструйних насосів. З урахуванням формули (8) вираз для визначення загального ККД установки (7) може бути записано у вигляді

$$\eta_{yct} = \eta_n \frac{\lambda(1+\lambda)}{(1+\xi_n)(1+\lambda)} \left[2 \frac{1+\lambda}{m} - X \left(\frac{X \cos \psi}{n} - \frac{1+\lambda}{m} \right)^2 - (1 + \Sigma \xi + X \Sigma \xi) \left(\frac{1+\lambda}{m} \right)^2 \right], \quad (9)$$

Раніше вказувалося, що водознижувальна установка ПУВВ-5МЕА при спорудженні глибоких котлованів монтується за другим варіантом (рис. 4), при якому поліструйний насос розміщується безпосередньо на дні котловану (біля всмоктувальної системи), а відцентровий насос разом з циркуляційним баком і рамою - на поверхні землі. Відповідно до цієї схеми натиск робочої води перед насадками поліструйного насоса може бути представлений формулою

$$H_0 = H_n + h_r - \Sigma h_r, \quad (10)$$

де h_r – геодезична висота, тобто відстань від осі відцентрового насоса до обріза насадків одноструйних насосів, що входять в блок поліструйного насоса; Σh_r – сумарні гідравлічні втрати при русі робочої води від відцентрового до блоку поліструйного насоса.

Запишемо формулу (5) у вигляді

$$\frac{H_0}{H_n} = \frac{H_n + h_{\Gamma} - \Sigma h_{\Gamma}}{H_n} = \frac{H_n - \Sigma h_{\Gamma}}{H_n} + \frac{h_{\Gamma}}{H_n}. \quad (11)$$

У цій формулі вираз $\frac{H_n - \Sigma h_{\Gamma}}{H_n}$ являє собою ККД трубопроводу (η_{TP}) на ділянці від відцентрового до блоку поліструйного насоса (відношення запасу енергії рухомої води в кінці трубопроводу до запасу її на початку трубопроводу), тобто.

$$(H_n - \Sigma h_{\Gamma})/H_n = \eta_{TP}. \quad (12)$$

Відношення h_{Γ}/H_n у формулі (6) позначимо через ν (коефіцієнт, що враховує положення обрізів насадок блоку поліструйного насоса щодо відцентрового насоса). З урахуванням цих виразів формула (4) може бути записана у вигляді

$$\eta_{уст} = \eta_n(\eta_{TP} + \nu) \frac{Q_{01}\eta_1^0 + Q_{02}\eta_2^0 + \dots + Q_{0i}\eta_i^0}{Q_0}. \quad (13)$$

Після відповідних перетворень, наведених в роботі [13], для установки ПУВВ-5МЕА отримано вираз для визначення її коефіцієнта корисної дії у вигляді

$$\eta_{уст} = \eta_n(\eta_{TP} + \nu)\eta^0. \quad (14)$$

Підставляючи в (14) вираз для визначення η^0 (8), одержуємо формулу для визначення ККД установки у вигляді

$$\eta_{уст} = \eta_n(\eta_{TP} + \nu) \frac{\chi(1+\lambda)}{(1+\xi_n)(1+\chi)} \left[2 \frac{1+\chi}{m} - \chi \left(\frac{\chi \cos \psi}{n} - \frac{1+\chi}{m} \right)^2 - (1 + \Sigma \xi + \Sigma \xi \Sigma) \left(\frac{1+\chi}{m} \right)^2 \right]. \quad (15)$$

Формула (15) може бути також використана для визначення ККД установки ПУВВ-5МЕА, використовуваної для цілей водозниження при спорудженні похилих виробок (наприклад, шахтних стволів) (рис. 5). В цьому випадку слід мати на увазі те, що напір робочої рідини перед поліструйним насосом являє собою

$$H_0 = H_n + h - \Sigma \Delta h, \quad (16)$$

де $\Sigma \Delta h$ - втрати напору в трубопроводі на ділянці від відцентрового до поліструйного насоса.

Необхідний напір змішаного потоку в трубопроводі за поліструйним насосом в цьому випадку представляє собою

$$H_2 = h + \kappa_2 \cdot i_0 \cdot L, \quad (17)$$

де κ_2 – коефіцієнт, що враховує місцеві опори в трубопроводі від поліструйного насоса до циркуляційного бака; i_0 – питомі втрати напору в трубопроводі; L – довжина трубопроводу від поліструйного насоса до циркуляційного бака. У виразах (16) і (17) величина $h=L \cdot \sin \omega$. Тому вираз (17) може бути записано у вигляді

$$H_2 = (\sin \omega + \kappa_2 \cdot i_0) \cdot L \quad (18)$$

Отримані вище вираження (9) і (15) дозволяють визначити величину коефіцієнта корисної дії водознижувальної установки ПУВВ-5МЕА, що працює в різних умовах.

Висновки. Універсальна установка локального вакуумного водозниження ПУВВ-5МЕА з автоматизованою системою управління в даний час є однією з найбільш досконалих технічних засобів водозниження в дрібнозернистих ґрунтах з малими коефіцієнтами фільтрації. Вона ефективно використовується для водозниження при будівництві і експлуатації заглиблених і підземних об'єктів в складних гідрогеологічних умовах.

Критерієм ефективності робочого режиму установки ПУВВ-5МЕА є її коефіцієнт корисної дії. В роботі отримані аналітичні залежності (9) і (15) для визначення ККД цієї установки для різних схем її застосування. Ці залежності можуть бути використані для

розрахунків також і при створенні інших більш досконалих аналогічних по конструкції водознижувальних установок.

При створенні більш досконалих подібних ПУВВ-5МЕА водознижувальних установок доцільно прагнути до досягнення максимуму їх ККД за рахунок вибору:

- 1) оптимальної кількості одноструменевих насосів, що входять в блок поліструменевого насоса;
- 2) оптимальних геометричних параметрів цих одноструменевих насосів;
- 3) найбільш ефективного насоса, що подає робочу воду до блоку поліструменевого насоса.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Болотских Н.С. Справочник по водопонижению. Оборудование и технология. Киев: изд. «Будівельник», 1985. 172 с.
2. Григорьев В.М. Вакуумное водопонижение. М, Стройиздат, 1973. 223 с.
3. Смородинов М.И. Водопонизительные установки. М. Стройиздат, 1984. 116 с.
4. Болотских Н.С. Строительное водопонижение в сложных гидрогеологических условиях. Киев: «Будівельник» 1976. 112 с.
5. Болотских Н.С. Оборудование водопонижения в угольной и горнорудной промышленности. М.: «Недра», 1973. 216 с.
6. Иглофильтровая установка IgE-81. Руководство по эксплуатации, описание конструкции и действия. Польша: P.P.H.U. KLAUDIA sp.zo.o. URL: <http://www.klaudia.eu>.
7. Дренажный агрегат ST 1/3. Польша: ООО Aqua Industrial. URL: <http://www.aquaindustrial.cz>.
8. Болотских Н.С., Сорокин Б.С. Универсальная установка локального вакуумного водопонижения ПУВВ-5МЕА с автоматизированной системой управления. Ж-л «Механизация строительства», 2013. № 10. с. 3-6.
9. Болотских Н.С., Сорокин Б.С. Универсальная установка локального вакуумного водопонижения ПУВВ-5МЕА с автоматизированной системой управления. Рекомендации по применению. Харьков: ХНУСА, 2013. 38 с.
10. Болотских Н.С., Сорокин Б.С., Клейн Е.Б. Совершенствование водопонижения при выполнении аварийно-восстановительных работ на сетях водоотведения. Науковий вісник будівництва. ХНУБА, ХОТБ АБУ, 2014. вип. 77 (3). с. 40-45.
11. Болотских Н.С. Забойное вакуумное водопонижение при сооружении наклонных выработок в обводненных и слабоустойчивых грунтах. Науковий вісник будівництва. ХНУБА, ХОТБ АБУ, 2017. вип. 87 (1). с. 133-139.
12. Болотских Н.С. Водопонижение. Харьков: Вища школа. Изд. при Харьковском государственном университете, 1981. 144 с.
13. Болотских Н.С. Эффективность рабочего режима универсальных установок вакуумного водопонижения с полиструйными насосами. Науковий вісник будівництва. ХНУБА, ХОТБ АБУ, 2016. вип. 85 (3). с. 234-241 с.

REFERENCES:

1. Bolotskikh N.S. Spravochnik po vodoponizheniya. Oborudovanie i tekhnologiya. Kiev: izd. "Budivelnik", 1985. 172 s.
2. Grigorev V.M. Vakuumnoe vodoponizhenie. M.: Stroyizdat, 1973. 223 s.
3. Smorodinov M.I. Vodoponizitelnye ustanovki. M.: Stroyisdat, 1984. 116 s.
4. Bolotskikh N.S. Stroitelnoe vodoponizhenie v slozhnykh gidrogeologicheskikh usloviyakh. Kiev: "Budivelnik", 1976. 112 s.
5. Bolotskikh N.S. Oborudovanie vodoponizheniya v ugolnoy i gornorudnoy promyshlennosti. M.: "Nedra", 1973. 216 s.
6. Iglofiltrrovaya ustanovka IgE-81. Rukovodstvo po ekspluatatsii, opisaniye konstruktssii i deystviya. Polsha: P.P.H.U. KLAUDIA sp.zo.o. URL: <http://www.klaudia.eu>.
7. Drenazhnyy agregat ST 1/3. Polsha: ООО Aqua Industrial. URL: <http://www.aquaindustrial.cz>.
8. Bolotskikh N.S., Sorokin B.S. Universalnaya ustanovka lokalnogo vakuumnogo vodoponizheniya PUVV-5MEA s avtomatizirovannoy sistemoy upravleniya. Z.H. "Mekhanizatsiya stroitelstva", 2013. № 10. s. 3-6.
9. Bolotskikh N.S., Sorokin B.S. Universalnaya ustanovka lokalnogo vakuumnogo vodoponizheniya PUVV-5MEA s avtomatizirovannoy sistemoy upravleniya. Rekomendatsii po primeneniya. Kharkov: KHNUSA, 2013. 38 s.
10. Bolotskikh N.S., Sorokin B.S., Kleyn E.B. Sovershenstvovanie vodoponizheniya pri vypolnenii avariyno-vosstanovitelnykh rabot na setyakh vodootvedeniya. Naukovyy visnyk budivnitstva. KHNUBA, KHOTV ABY, 2014. vyp. 77 (3). s. 40-45.
11. Bolotskikh N.S. Zaboynoe vakuumnoe vodoponizhenie pri sooruzhenii naklonnykh vyrabotok v obvodnennykh i slaboustoyckivykh gruntakh. Naukovyy visnyk budivnitstva. KHNUBA, KHOTV ABY, 2017. vyp. 87 (1). s. 133-139.

12. Bolotskikh N.S. Vodoponizhenie. Kharkov: Vishcha shkola. izd. pri Kharkovskom gosudarstvennom universitete, 1981. 144 s.
13. Bolotskikh N.S. Effektivnost rabocheho rezhima universalnykh ustanovok vakuumnogo

vodoponizheniya s polistruynymi nasosami. Naukovyy visnyk budivnitstva. KHNUBA, KHOTV ABY, 2016. vyp. 85 (3). c. 234-241.

Bolotskykh N.S., Bolotskykh N.N. DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF THE OPERATING MODE OF THE WATER-REDUCING INSTALLATION PUVV-5MEA IN DIFFERENT CONDITIONS OF ITS APPLICATION. The general view, description and main characteristics of the universal installation for local vacuum dewatering PUVV-5MEA are given, the most typical schematic diagrams of dewatering with the use of this installation during the construction and operation of buried and underground facilities are described, the main dependencies and calculation formulas are obtained for determining the efficiency of the operating mode of the installation in various conditions of its use.

Key words: installation of vacuum dewatering, poly-jet pump, operating mode, wellpoints, drive station.

doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-166-176

УДК 697.4

Болотських М.М., Болотських М.С.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: tgytyer@gmail.com; orcid.org/000-0003-0756-7264, orcid.org/000-0002-7756-6550)

СТВОРЕННЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ В РОБОЧИХ ЗОНАХ ПРИМІЩЕНЬ З ІНФРАЧЕРВОНИМ ОБІГРІВОМ

Наведено показники, що характеризують навколишнє середовище людини в робочій зоні приміщення, що обігрівається, показано їх вплив на формування теплового комфорту; сформульовані основні умови для отримання оптимального теплового комфорту в робочих зонах приміщень; отримані залежності для визначення значень ефективної температури і інтенсивності опромінення при використанні різних типів і моделей інфрачервоних обігрівачів; дані рекомендації з вибору допустимих значень інтенсивності опромінення людей, що знаходяться в робочих зонах приміщень, з метою виключення можливості несприятливого впливу на їх організми; запропонована методика вибору і розрахунку параметрів інфрачервоних систем обігріву приміщень, що дозволяє забезпечувати в їх робочих зонах оптимальний тепловий комфорт відповідно до затверджених державних санітарних норм при мінімальних витратах енергоресурсів; приведена блок-схема цієї методики та надано рекомендації щодо її подальшого практичного використання.

Ключові слова: інфрачервоне опалення, тепловий комфорт, інтенсивність випромінювання, ефективна температура, алгоритм методики вибору та розрахунку систем інфрачервоного обігріву.

Вступ. У світовій практиці для обігріву приміщень різного призначення широко застосовуються інфрачервоні обігрівачі [1,2]. Їх робота заснована на використанні принципу теплового випромінювання. Таке випромінювання є природним процесом, при якому тепло передається від тіла з вищою температурою до тіла з низькою температурою в формі електромагнітних хвиль. Під впливом електромагнітного випромінювання в приміщенні нагріваються поверхні предметів (підлоги, обладнання) і люди, що знаходяться в зоні прямої дії системи променистого обігріву. В подальшому від них нагрівається повітря і в робочій зоні приміщення формується відповідний температурний режим.

Світовими компаніями, фірмами та підприємствами випускається велика кількість різних типів, моделей і марок інфрачервоних обігрівачів. У ХНУБА на базі ретельного аналізу і узагальнення цих обігрівачів складена їх досить детальна класифікація, опублікована в [1]. Інфрачервоні обігрівачі по виду використовуваної енергії діляться на: електричні, газові, парові або водяні (термопанелі), рідкопаливні та твердопаливні. За призначенням вони поділяються на побутові та промислові, а по величині температури випромінюючої поверхні на низькотемпературні, середньотемпературні і високотемпературні. По