

## МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛЬОВОГО МАГІСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДУ ДЛЯ ВІДКАЧУВАННЯ ОСАДОВИХ ВОД ПРИРОДНИХ ТА ШТУЧНИХ ВОДОЙМИЩ

Є.І Крижанівський, Ю.В.Вязніцев

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 502507  
e-mail kvp@nimg.edu.ua

*Представлена оригинальная методика гидравлического расчета полевого магистрального трубопровода для сброса самотеком воды по пересеченной местности. Особенностью методики является то, что кроме критических точек профиля трассы трубопровода, она учитывает все существующие в трубопроводе местные сопротивления и определяет подачу, при которой обеспечивается сброс воды самотеком без разрыва ее струи.*

Внаслідок надмірних опадів у 2005 році і танення снігів в Івано-Франківській області, на полігоні твердих побутових відходів (ТПВ) с. Рибне Тисменицького району чеки (земляні споруди об'ємом 16-18 тис.м<sup>3</sup>, які були підготовлені для захоронення ТПВ) переповнились фільтратом (осадовими водами, що просочилися через ТПВ), загальним об'ємом понад 50 тис. м<sup>3</sup>.

З метою запобігання виліву фільтрату з чеків було прийнято оперативне рішення про нагортання ґрунту для збільшення висоти обвалування чеків на 1 м. Це рішення було прийнято у максимально стислі терміни у зв'язку із загрозливою ситуацією, що виникла. На проведення дослідницьких робіт та розрахунків щодо міцності обвалування (дамби), практично не було достатнього часу. Тому при нагортанні ґрунту для збільшення висоти обвалування чеків було прийнято рішення дотримуватись, в основному, проектної ширини обвалування в його верхній точці. Роботи з обвалування розпочались на початку квітня та завершилися у другій половині травня.

Перед цим спорожнення чеків від фільтрату, яке було завершено у другій половині листопада, проводилось у 2001 році. Практично, накопичення фільтрату в чеках відбувалося впродовж 3-х років та 6 місяців. Тоді, провівши розрахунки з врахуванням періоду накопичення фільтрату (початок листопада 2001 року – кінець травня 2005 року, або 877 робочих днів), можна зробити висновок, що для того, щоб тільки призупинити природне поповнення фільтрату, необхідно протягом кожного робочого дня вивозити (із застосуванням асенізаційних машин) в середньому 57 м<sup>3</sup> фільтрату.

Для вивезення фільтрату впродовж 6-ти місяців (із врахуванням природного притоку за рахунок осадових вод) необхідно було б вивозити кожного робочого дня не менше 400 м<sup>3</sup> фільтрату. Проведення даних заходів вимагало б залучення відповідних коштів, яких Івано-Франківська міська адміністрація не мала на той час у необхідній кількості.

*The original method of hydraulic self flow cross-country field pipeline calculation is represented. The special point of this method is taking into account the type of pipeline route and all local resistances present in the pipeline.*

З метою вирішення питання щодо спорожнення чеків від фільтрату та у зв'язку із загрозою виникнення надзвичайної ситуації було запропоновано використати польовий магістральний трубопровід ПМТП-150 для швидкого розкладання зовнішньої мережі водовідводу фільтрату від полігону ТПВ до каналізаційної мережі м. Івано-Франківська. При цьому необхідно було розглянути можливість проведення відкачування фільтрату з чеків полігону ТПВ самопливом.

Перед початком розкладання трубопроводу було проведено пошукові роботи, вивчено місцевість з метою пошуку найбільш раціональної в технологічному та економічному відношенні траси трубопроводу.

Складність пошукових робіт полягала у тому, що необхідно було знайти такий шлях прокладання траси трубопроводу, який би забезпечував скидання фільтрату самопливом по складній пересіченій місцевості, з перепадами геодезичних висот, з достатньо великою кількістю переходів через перешкоди (р.Павлівка, автомобільна траса, відгалуження доріг від траси). Крім того, необхідно було обминути низку об'єктів (придорожні ресторани та кафе, автозаправні станції та ін.)

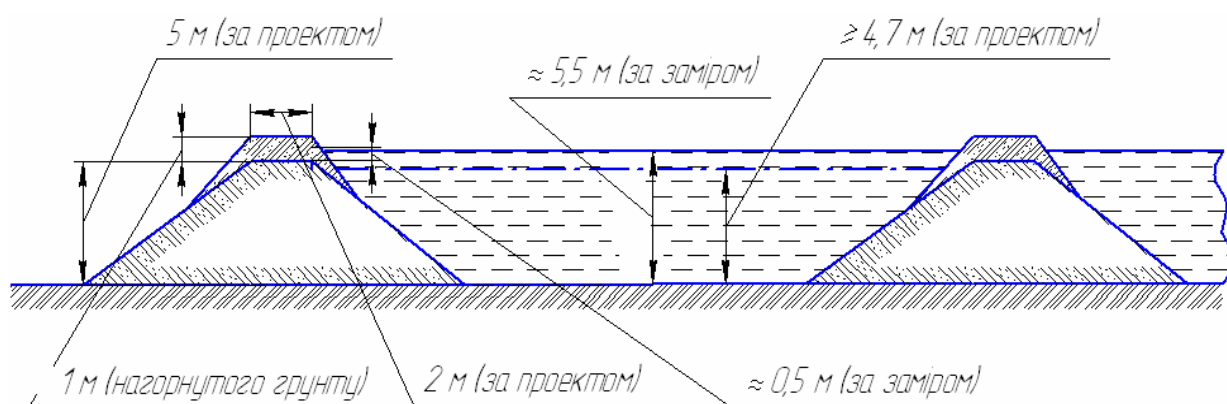
Профіль траси та ситуаційний план траси трубопроводу ПМТП-150 для скидання фільтрату наведений на рисунку 3.

Враховуючи, що витік фільтрату з трубопроводу проводився відкритим струменем в каналізаційну мережу, його неконтрольований витік міг би призвести до утворення повітряних (парових) пробок на геодезичних висотах А, Б, В, Г, Д, Е (надалі – критичні точки), що призвело б до скидання фільтрату за рахунок зменшення робочого діаметра труби у цих точках.

У зв'язку з цим було застосовано таку методику гідравлічного розрахунку роботи трубопроводу, траса якого проходить у гірській пересіченій місцевості з перепадами геодезичних висот.



**Рисунок 1 — Переповнені фільтратом чеки полігону твердих побутових відходів с. Рибне Тисменицького району Івано-Франківської області (червень 2005 року)**



**Рисунок 2 — Схема нагортання ґрунту обвалування чеків з метою збільшення його висоти та рівень фільтрату станом на липень 2005 року**

На першому етапі розрахунків визначали теоретичне значення продуктивності даного трубопроводу ( $Q'_{max}$ ) без врахування перепадів геодезичних висот по трасі трубопроводу за класичною методикою.

Оскільки продуктивність трубопроводу прямо пропорційно залежить від швидкості руху рідини, що перекачується, ( $V$ ) та площі поперечного перерізу трубопроводу ( $S$ ):

$$Q = V \cdot S,$$

де  $S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = const (D = const),$

то даний розрахунок зводиться до визначення максимальної швидкості з врахуванням умови скидання фільтрату самопливом:

$$H - \Delta z < 0,$$

де:  $\Delta z$  – різниця геодезичних позначок між початковою та кінцевою точками траси, м;

$H$  – загальні втрати напору на тертя по довжині трубопроводу ( $h_\tau$ ) та в місцевих опорах ( $h_{m.o.}$ ), які визначаються за формулою

$$H = h_\tau + h_{m.o.}$$

Загальні втрати напору на тертя по довжині трубопроводу ( $h_\tau$ ) визначаються за формулою Лейбензона, а загальні втрати в місцевих

опорах ( $h_{m.o.}$ ) — за формулою Дарсі-Вейсбаха, відповідно:

$$h_\tau = \lambda \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g},$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору;

$$h_{m.o.} = \sum \xi \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g},$$

де  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору.

Тоді формула умов скидання фільтрату самопливом набуває вигляду

$$\lambda \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} + \sum \xi \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} < \Delta z.$$

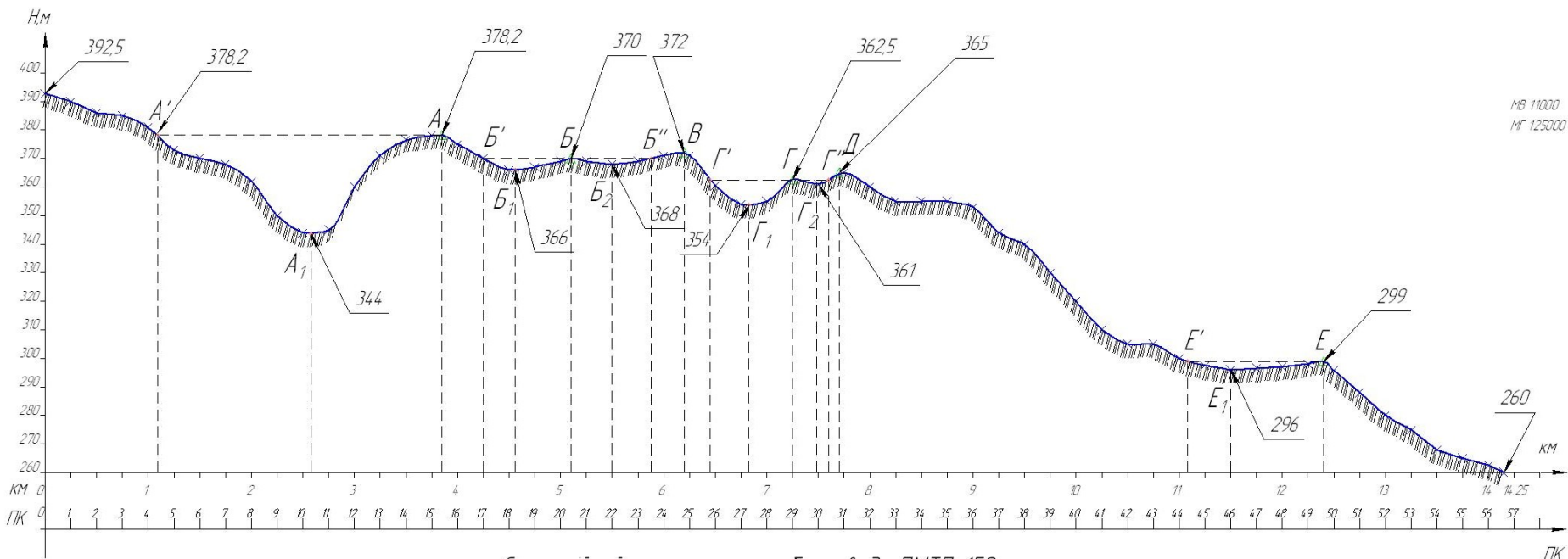
Звідси:

$$V < \sqrt{\frac{D \cdot 2g \cdot \Delta z}{\lambda \cdot l + d \cdot \sum \xi}}, (m/c).$$

Оскільки

$$V = f(\lambda) \rightarrow \lambda = f(Re) \rightarrow Re = f(V),$$

обчислення проводили методом послідовних наближень.



Ситуаційний план траси трубопроводу ПМТП-150

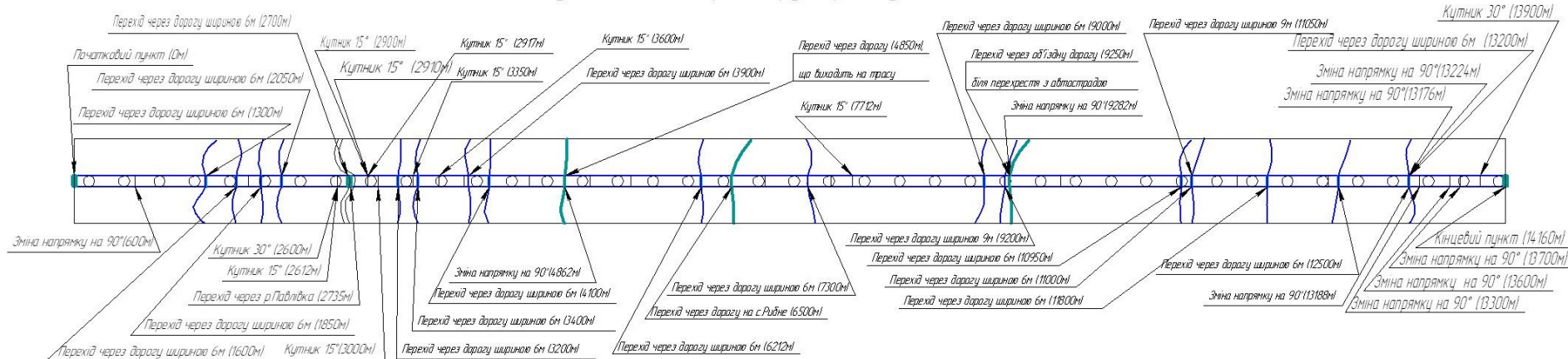


Рисунок 1 — Профіль траси трубопроводу ПМТП-150 для скидання фільтрату від полігону ТПВ с. Рибне до каналізаційної мережі м. Івано-Франківська (автостанція-2)

Для розрахунків задалися вихідним значенням продуктивності  $Q_{max}$  трубопроводу ПМТП-150 (виходячи з тактико-технічної характеристики ПМТП-150 це значення для нього дорівнює 3000 м<sup>3</sup>/добу).

Визначили швидкість руху фільтрату по трубопроводу:

$$V = \frac{4 \cdot Q_{max}}{\pi \cdot D^2},$$

де  $Q$  – пропускна здатність трубопроводу, м<sup>3</sup>/с;  
 $D$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м.

Число Рейнольдса визначали в залежності від режиму перекачування:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

В'язкість фільтрату ( $\nu$ ) визначали за графіком залежно від мінімальної добової температури навколишнього середовища (визначено завданням).

Коефіцієнт гідравлічного опору ( $\lambda$ ) для трубопроводу ПМТП-150 визначали за формулою [1]:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( 0,0001 + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

Швидкість руху фільтрату в трубопроводі в першому наближенні визначили за формулою

$$V_2 = \sqrt{\frac{D \cdot 2g \cdot \Delta z}{\lambda \cdot l + d \cdot \sum \xi}}, (m/c).$$

Отримане значення швидкості порівняли з попередньо визначеним значенням. Порівняння проводили за умовами:

$$|V_1 - V_2| \leq 0,001.$$

Якщо вказана умова не виконувалась, то для подальших розрахунків отримане значення швидкості приймали за вхідне для наступного наближення.

За результатами проведених розрахунків отримали теоретичне значення продуктивності даного трубопроводу без врахування перепадів геодезичних висот на трасі трубопроводу  $Q'_{max}$ , яке дорівнювало 1731 м<sup>3</sup>/добу.

На другому етапі розрахунків визначали таку продуктивність трубопроводу ( $Q_{крит.}$ ), яка б забезпечувала неперервність струменя потоку фільтрату у трубопроводі з метою запобігання утворення повітряних (парових) пробок у критичних точках траси трубопроводу.

З метою урахування при проведенні розрахунків впливу профілю траси трубопроводу (критичних точок), місцевих опорів та втрат напору на тертя при скиданні фільтрату самопливом, напір фільтрату визначали у кожній критичній точці трубопроводу, де можливе утворення повітряних (парових) пробок, при різних можливих значеннях продуктивності трубопроводу, починаючи з продуктивності  $Q_{min}$  (практично було прийнято 200 м<sup>3</sup>/добу) та закінчуючи теоретичним значенням продуктивності даного трубопроводу без врахування перепадів геодезичних висот на трасі трубопроводу  $Q'_{max}$ , яка дорівнювала 1731 м<sup>3</sup>/добу.

Напір рідини у вибраній точці трубопроводу визначали за формулою

$$H = H_{нідн.} - h_{\tau} - h_{m.o.} \pm \Delta z.$$

Оскільки ми проводили розрахунок при скиданні фільтрату самопливом, то в нашому випадку  $H_{нідн.} = 0$ , а  $\Delta z$  менше 0.

Тоді

$$H = -\Delta z - h_{\tau} - h_{m.o.}$$

Втрати напору на тертя в трубопроводі по всій довжині трубопроводу до вибраної точки  $i$  визначали за формулою

$$h_{\tau_i} = \lambda \cdot \frac{l_i}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g},$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору, який визначили за формулою

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( 0,0001 + \frac{68}{Re} \right)^{0,25},$$

де  $Re$  – число Рейнольдса, яке визначається за формулою

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu},$$

де  $V$  – швидкість руху рідини, яка визначається за формулою

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}.$$

Втрати напору при подоланні місцевих опорів в трубопроводі від початкового пункту до вибраної точки  $i$  визначили за формулою

$$h_{m.o.i} = \xi_i \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g},$$

де  $\xi_i$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів в трубопроводі від початкового пункту до вибраної точки  $i$ .

Напір фільтрату  $H_{O_i}$  визначали у кожній критичній точці  $i$  (А, Б, В, Г, Д, Е) траси трубопроводу при однакових значеннях продуктивності трубопроводу  $Q$ , змінюючи їх в подальшому від  $Q_{min}$  до  $Q'_{max}$  з кроком нарощення продуктивності трубопроводу  $\Delta Q$ , з метою визначення такої продуктивності трубопроводу  $Q$ , при якій в одній з критичних точок значення напору фільтрату  $H$  вперше під час розрахунку буде дорівнювати нулю.

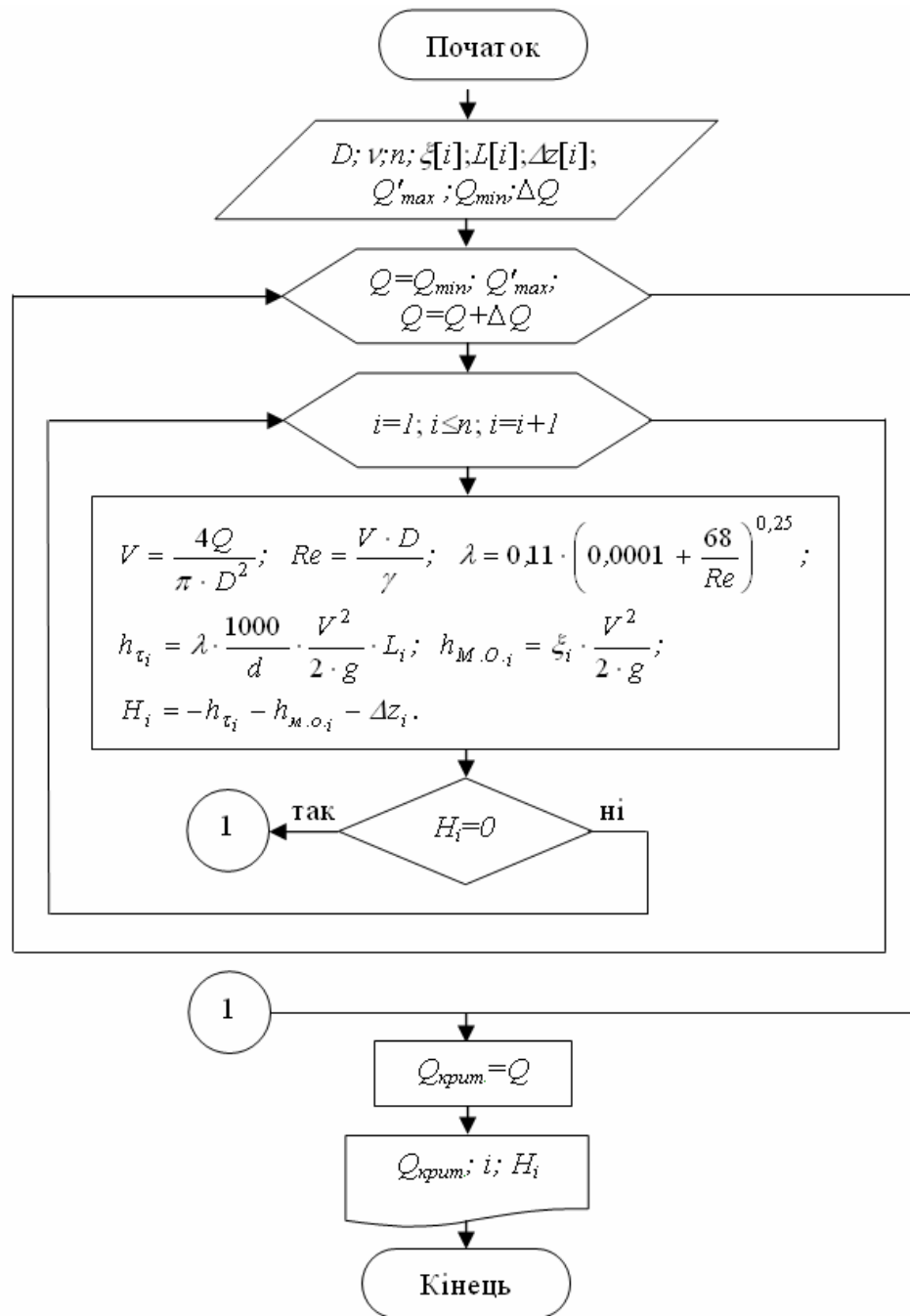
Це значення продуктивності трубопроводу є критичним ( $Q_{крит.}$ ), тому що збільшення значення продуктивності трубопроводу призведе (за рахунок збільшення швидкості потоку фільтрату) до зменшення наповнення фільтратом трубопроводу, що дозволить на кінцевому пункті або через ущільнюючі з'єднання трубопроводу проникнути повітря та утворити у критичних точках повітряні (парові) пробки.

Для зменшення трудомісткості розв'язання цього завдання була розроблена програма її рішення на ПК.

Алгоритм розрахунку полягає у такому:

1) задається комплекс вихідних даних, що включає в себе: внутрішній діаметр трубопроводу ( $D$ ); кінематичну в'язкість рідини при заданій температурі ( $\nu$ ); густину рідини при





**Рисунок 4 — Блок-схема алгоритму програми визначення критичної продуктивності ( $Q_{crit}$ ) трубопроводу, прокладеного в гірській (пересіченій) місцевості, при якому забезпечується скидання рідини самопливом без розриву потоку рідини**

заданій температурі ( $g$ ); кількість критичних точок ( $n$ ) на трасі трубопроводу; масив значень суми коефіцієнтів опорів ( $\xi[i]$ ) трубопроводу від початкового пункту до кожної критичної точки за порядком від початкового пункту; масив значень довжини трубопроводу ( $L[i]$ ) від початкового пункту до кожної критичної точки за порядком від початкового пункту; масив значень різниці геодезичних позначок ( $\Delta z[i]$ ) між кожною критичною точкою та кінцевим пунктом трубопроводу за порядком від початкового пункту; теоретичне значення продуктивності даного трубопроводу без врахування перепадів геодезичних висот на трасі трубопро-

воду ( $Q'_{max}$ ); мінімальна продуктивність ( $Q'_{min}$ ); крок нарощення продуктивності трубопроводу ( $\Delta Q$ );

2) при продуктивності  $Q=Q_{min}$  обчислюємо для першої критичної точки (для неї  $i=1$ ) наступні значення: швидкість руху рідини ( $V=f(Q)$ ), число Рейнольда ( $Re=f(Q)$ ), коефіцієнт гідравлічного опору ( $\lambda=f(Q)$ ), втрати напору на тертя в трубопроводі до критичної точки  $i$  ( $h_{\tau i} = f(Q)$ ), втрати напору в місцевих опорах у трубопроводі до критичної точки  $i$  ( $h_{m.o.i} = f(Q)$ ), напір рідини у критичній точці  $i$  ( $H_i=f(Q, \Delta z_i)$ );

3) порівнюємо значення напору рідини у критичній точці  $i$  ( $H_i$ ) з нулем (0). Якщо  $H_i > 0$ , то проводимо такі ж розрахунки для наступної критичної точки  $i$  ( $i=i+1$ ) доки  $i=n$ . Якщо  $H_i=0$ , присвоюємо  $Q_{крит.}$  значення  $Q$  та закінчуємо розрахунки;

4) якщо  $i > n$ , порівнюємо значення продуктивності  $Q$  зі значенням  $Q'_{max}$ . Якщо  $Q < Q'_{max}$ , збільшуємо продуктивність трубопроводу на  $\Delta Q$  ( $Q=Q+\Delta Q$ ) та проводимо такі ж розрахунки з новим значенням  $Q$ , починаючи для першої критичної точки  $i$  ( $i=1$ ). Якщо  $Q=Q'_{max}$ , присвоюємо  $Q_{крит.}$  значення  $Q$  та закінчуємо розрахунки.

Блок-схема алгоритму програми визначення критичної продуктивності ( $Q_{крит.}$ ) трубопроводу, прокладеного в гірській (пересіченій) місцевості, при якому забезпечується скидання рідини самопливом без розриву потоку рідини, наведена на рисунку 4.

За допомогою прикладної програми визначили, що максимально допустима продуктивність (критична  $Q_{крит.}$ ) трубопроводу, розгорнутого за вибраною трасою, при скиданні фільтрату самопливом, дорівнює  $961 \text{ м}^3/\text{добу}$  (розрахунковий тиск фільтрату у точці В при цьому склав  $0,0083 \text{ м}$  стовпа рідини).

Для визначення робочої максимальної продуктивності трубопроводу, розгорнутого за вибраною трасою, при скиданні фільтрату самопливом, заручилися 5% запасом.

$$Q_{роб} = Q_{крит.} * 95\% (\approx 913 \text{ м}^3/\text{добу}).$$

Наведений вище алгоритм дозволяє дослідити і визначити для конкретного трубопроводу його максимально можливу продуктивність при скиданні рідини самопливом, з якою перетікання рідини буде здійснюватись у трубопроводі без розриву її струменя.

Наведена методика розрахунку дає змогу проводити перекачування рідини трубопроводом, який прокладений в гірській (пересіченій) місцевості, за умови витоку рідини відкритим струменем у кінцевому пункті та одночасно можливого розриву її потоку внаслідок утворення повітряних (парових) пробок на геодезичних висотах.

### Література

1 Полевые магистральные трубопроводы повышенной производительности. Руководство по эксплуатации. – М.: ВИ, МО, 1982. – 368 с.

2 Середюк М.Д., Якимів Й.В., Лісафін В.П. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів: Підручник для студентів спеціальності „Газонафтопроводи та газонафтосховища”. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2001. – 517 с.