

Технічні науки

УДК 622.691.4

**Григорський Станіслав Ярославович**

*кандидат технічних наук, доцент,*

*доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

**Григорский Станислав Ярославович**

*кандидат технических наук, доцент,*

*доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ*

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа*

**Hryhorskyy Stanislav**

*PhD, Associate Professor,*

*Associate Professor of the Department of*

*Gas and Oil Pipelines and Gas and Oil Storages*

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

**Іванов Олександр Васильович**

*кандидат технічних наук,*

*доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

**Иванов Александр Васильевич**

*кандидат технических наук,*

*доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ*

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа*

**Ivanov Oleksandr**

*PhD, Associate Professor,*

*Associate Professor of the Department of*

*Gas and Oil Pipelines and Gas and Oil Storages*

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

**ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ МАГІСТРАЛЬНОГО  
НАФТОПРОВОДУ ДЛЯ ВІНОСУ СКУПЧЕНЬ ВОДИ  
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО  
НЕФТЕПРОВОДА ДЛЯ ВІНОСА СКОПЛЕНИЙ ВОДИ  
RESEARCH OF OPERATING MODES OF THE MAIN OIL PIPELINE  
FOR THE REMOVAL OF WATER ACCUMULATIONS**

***Анотація.** Розглянуто метод розрахунку продуктивності магістрального нафтопроводу для руйнування та виносу скупчень води з порожнини трубопроводу. Для дослідної ділянки нафтопроводу оцінено величину залпової та розмивної швидкості руху нафти із урахуванням сезонних змін властивостей нафти, особливостей профілю траси та фактичних режимів роботи.*

***Ключові слова:** залпова швидкість, висхідна ділянка, розмивна швидкість, геометричний нахил.*

***Аннотация.** Рассмотрен метод расчета производительности магистрального нефтепровода для разрушения и выноса скоплений воды из полости трубопровода. Для опытного участка нефтепровода оценена величина залповой и размывной скорости движения нефти с учетом сезонных изменений свойств нефти, особенностей профиля трассы и фактических режимов работы.*

***Ключевые слова:** залповая скорость, восходящий участок, размывная скорость, геометрический уклон.*

***Summary.** The method of calculating the productivity of the main oil pipeline for the destruction and removal of accumulations of water from the cavity of the pipeline is considered. For the experimental section of the oil pipeline, the value of salvo and washout velocity of oil movement was estimated, taking into account seasonal changes in oil properties, features of the route profile and actual operating modes.*

**Key words:** *volley speed, ascending section, speed of gradual removal, geometric slope.*

У процесі експлуатації магістральних нафтопроводів гідравлічний опір зростає через наявність відкладень важких компонентів нафти, води та механічних домішок на внутрішній поверхні та в порожнині трубопроводу, що зменшують його поперечний переріз і пропускну здатність та збільшують енерговитратність транспорту нафти.

Скупчення води можуть утворюватися внаслідок планових та непланових зупинок нафтопроводу, неповного видалення води під час проведення ремонту, випробування та пуску нафтопроводу в експлуатацію, та перекачування нафти із певним вмістом води. Переважно вони акумулюються в понижених ділянках магістральних трубопроводів. Крім того, за певних гідродинамічних умов відбувається стрибкоподібна зміна характеристик розшарованого потоку (скупчення), що може привести до його поділу на частини і виносу у вигляді великих утворень, відомих в літературі [1-3] під назвою «Slug». При зміні режиму роботи нафтопроводу, особливо при значному збільшенні продуктивності, можуть відбутись неконтрольовані поступлення додаткових обсягів води на кінцевий пункт (приймально-здавальну ділянку), що призводить до погіршення якісних показників нафти, зокрема показника вмісту води у нафті. Наявність корозійно-активної водної фази, що знаходиться в нижній частині трубопроводу створює сприятливі умови для розвитку корозії внутрішньої порожнини трубопроводу.

З практичної точки зору необхідно вміти розраховувати оптимальні параметри перекачування нафти і нафтопродуктів трубопроводами для запобігання умов виникнення процесу корозії за рахунок періодичного розсіювання корозійноактивної водної фази, що рухається в нижній частині трубопроводу. Тобто визначити такі продуктивності трубопроводу,

за яких досягається поступовий розмив водяних скупчень або їх безпосередній цілковитий залповий винос із висхідних ділянок.

Середня швидкість течії нафти, при якому забезпечується винесення скупчення води з висхідної ділянки нафтопроводу, визначається за формулою [4] (так звана «залпова» швидкість)

$$w_3 = K_w \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot D \cdot i_2}{\lambda} \cdot \frac{1 - \Delta_n}{\Delta_n}}, \frac{m}{c}, \quad (1)$$

де  $K_w$  – безрозмірний поправочний коефіцієнт

$$K_w = 0,564 - 0,133 \cdot \ln \gamma_n + [2,435 \cdot i_2^{0,27} - 1] \cdot (0,065 \cdot \ln \gamma_n - 0,278), \quad (2)$$

$i_2$  – геометричний нахил висхідної ділянки, що дорівнює відношенню різниці геодезичних позначок кінця і початку ділянки  $\Delta z$  до її довжини  $l$ ;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $m/c^2$ ;

$D$  – внутрішній діаметр нафтопроводу, м;

$\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору трубопроводу;

$\Delta_n, \gamma_n$  – безрозмірні відносні густина та в'язкість нафти, що дорівнюють відношенню густини та кінематичної в'язкості нафти до відповідних значень вказаних параметрів для води.

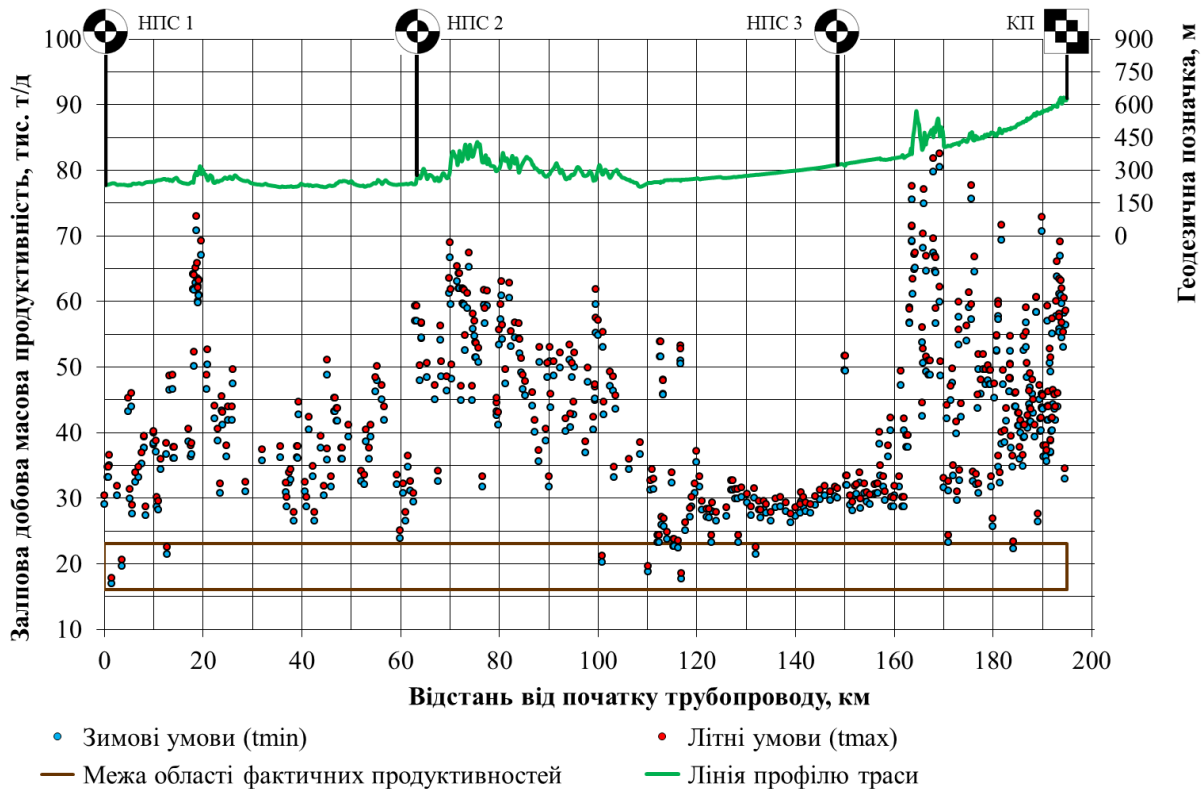
Розрахунок процесу поступового (крапельного) виносу, який відбувається шляхом поступового розмивання скупчень потоком нафти здійснюється за формулою [5, 6], яку запишемо через відносні густину і в'язкість нафти

$$w_p = 0,067 \cdot \gamma_n^{0,23} \cdot D^{0,54} \cdot \left[ \frac{1 - \Delta_n}{\Delta_n \cdot d_{кр}} \cdot \frac{1 - i_2^2}{i_2} \right]^{0,38}, \frac{m}{c}, \quad (3)$$

де  $d_{кр}$  – діаметр крапель води, що являють собою поступово розмиті накопичення води в нижній частині висхідної ділянки нафтопроводу, м.

Проведемо розрахунки величини виносної та розмивної продуктивностей для однієї з експлуатаційних ділянок вітчизняного транзитного нафтопроводу. Обчислення виконано для зимових та літніх

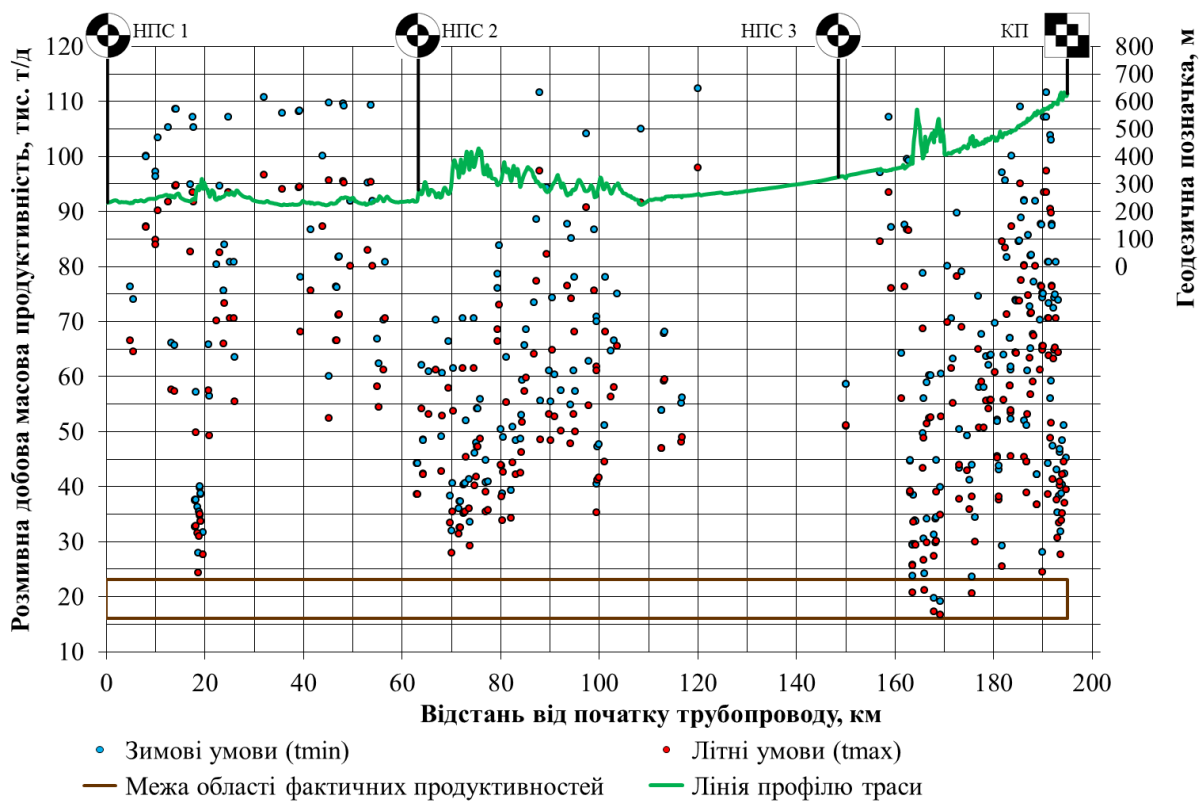
умов перекачування, що відповідають мінімальній та максимальній середньорічній температурі ґрунту на глибині залягання осі підземного трубопроводу. Оскільки висхідних ділянок на трасі дослідного нафтопроводу є понад 400, то всі результати багатоваріантних розрахунків необхідних режимів роботи нафтопроводу для забезпечення виносу скупчень води оформляємо у вигляді графічних залежностей (рис. 1,2).



**Рис. 1. Графік зміни добової залпової продуктивності нафтопроводу, що забезпечить повний та одночасний винос скупчення води із висхідних ділянок дослідного нафтопроводу**

Рисунок 1 ілюструє графічну залежність, на якій представлено необхідні значення залпової добової масової продуктивності нафтопроводу для забезпечення повного виносу водяних скупчень із внутрішньої порожнини висхідних ділянок дослідного нафтопроводу. На графік нанесено лінію профілю траси та поле фактичних продуктивностей роботи зазначеної ділянки нафтопроводу впродовж року. Відповідно до технологічної карти оптимальних режимів роботи нафтопроводу його

масова продуктивність змінюється в межах від 16,1 тис.т/д до 23,1 тис.т/д, що відповідає діапазону зміни об'ємної витрати 850-2400 м<sup>3</sup>/год. Вказані значення продуктивності роботи нафтопроводу, як впливає, із рисунка 1 забезпечують залповий винос скупчень води тільки із незначної кількості висхідних ділянок, які розміщені на початку першого перегону та в кінці другого і третього перегонів. Тобто за фактичних умов роботи досліджуваного нафтопроводу з переважної більшості висхідних ділянок не вдається здійснити залповий винос скупчень води.



**Рис. 2. Графік зміни добової продуктивності нафтопроводу, що забезпечить поступове руйнування скупчення води та подальший винос дрібних крапель води із висхідних ділянок дослідного нафтопроводу**

На рисунку 2 наведено графічну залежність дискретного розподілу добової масової продуктивності нафтопроводу для забезпечення поступового розмиву скупчень води по довжині висхідних ділянок дослідного нафтопроводу. Як видно з рисунка 2, за умов експлуатації досліджуваної ділянки нафтопроводу технічно можливим є реалізація

розмивної схеми видалення води з трубопроводу тільки на початку останнього перегону між третьою нафтоперекачувальною станцією (НПС 3) та кінцевим пунктом (КП), який характеризується пересіченим профілем траси. Як і у випадку із залповим виносом води, за фактичних режимів роботи дослідного нафтопроводу, з переважної більшості висхідних ділянок не вдасться здійснити поступовий розмив скупчень води.

### **Висновки.**

1. За результатами проведених розрахунків встановлено, що сезонні коливання властивостей нафти практично не впливають на величину залпової продуктивності. Для мінімальної масової залпової витрати відхилення літніх значень від зимових не перевищує 4,8 %, а для максимального значення продуктивності – 2,5 %, що знаходиться в межах точності застосованих математичних моделей. Натомість зміни властивостей транспортованої нафти впродовж року помітно впливають на розмивну продуктивність (максимальне відхилення по абсолютній величині понад 13 %).

2. За фактичних умов роботи досліджуваного нафтопроводу залповий винос скупчень води можливо реалізувати для незначної кількості висхідних ділянок, які розміщені на початку перегону НПС 1 – НПС 2 та в кінці решти лінійних ділянок. Сумарна довжина висхідних ділянок, на яких здійснюється даний режим роботи становить 5,9 км, що становить майже 5 % від загальної протяжності висхідних ділянок на трасі трубопроводу.

3. Реалізація розмивної схеми видалення води з порожнини трубопроводу є технічно можливою тільки на початку останнього перегону НПС 3 – КП, профіль траси якого проходить через гірську місцевість. Сумарна довжина висхідних ділянок, які працюють на вказаному режимі, не перевищує 0,3 км, що становить майже 0,6 % від



загальної протяжності висхідних ділянок, які мають кут нахилу більший за  $0,5^\circ$ .

### **Література**

1. Кутуков С.Е., Бажайкин С.Г., Мухаметшин Г.Р. Характеристика участка нефтепровода со скоплением воды // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 4 (106). С. 118-125.
2. Banu Alkaya. Oil-Water Flow Patterns and Pressure gradients in Slightly Inclined Pipes // Semiannual Report TUFFT. Tulsa, 2001. May. P. 105-150.
3. Goldberg V., McKee F. Terrain Induced Slugging in Two-Phase Flow // Pipeline Engineering Symposium: Proceeding ASME. Dallas: ETCE, 1987. P. 241-248.
4. Байков И. Р., Жданова Т. Г., Гареев Э. А. Моделирование технологических процессов трубопроводного транспорта нефти и газа. Уфа: Изд-во Уфим. нефт. ин-та, 1994. 128 с.
5. Касперович В. К. Экспериментальные исследования условий удаления воды и воздуха из нефтепродуктопроводов: диссертация кандидата технических наук. М: МИНХ и ГП им. И.М. Губкина, 1965.
6. Kutukov S.E., Shammazov A.M. Hydrodynamic Conditions for the Existence of Water Accumulation in the Product Pipeline [Collection of Scientific Works «Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products»]. 2003. Issue 62. P. 43-45.