

ПРО ЗМІНУ РІВНЯ НАФТИ В РЕЗЕРВУАРІ З ПЛАВАЮЧОЮ ПОКРІВЛЕЮ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРНІ ОПАДИ

В.П. Лісафін, Н.В. Люта

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727139,
e-mail: V.Lisafin@gmail.com*

Аналізуються основні тенденції у реконструкції та розвитку резервуарних парків системи магістрального транспорту нафти в Україні – використання резервуарів великих об'ємів з плаваючою покрівлею. Розглянуто одну з причин, що може ускладнювати експлуатацію таких резервуарів – наявність рідких (у вигляді дощу) або твердих (снігу та льоду) атмосферних опадів на ній, що призводить до глибшого занурення плаваючої покрівлі резервуара у нафту. Проаналізовано літературні джерела щодо експлуатації резервуарів з плаваючою покрівлею та встановлено, що в них практично відсутні дані замірів, за якими можна оцінити вплив рідких атмосферних опадів на глибину занурення плаваючих покрівель резервуарів. Показано актуальність питання, з точки зору товаро-транспортних операцій з обліку нафти. Наведено результати вимірювання рівнів нафти в резервуарі штатними приладами за наявності та відсутності дощової води на плаваючій покрівлі (після дренажу останньої через систему водовідведення) та результати їх оброблення з метою визначення різниці облікованої маси нафти в резервуарі через накопичення води на покрівлі з урахуванням фізичних властивостей нафти та даних обробки калібрувальних таблиць резервуара. Проаналізовано результати натурних замірів та запропоновано метод розрахунку зміни рівня нафти в резервуарі через наявність атмосферних опадів на покрівлі. Визначення рівня нафти в резервуарі проводилося за допомогою штатної системи типу ENRAF, а визначення об'ємів нафти – за калібрувальною таблицею резервуара. На підставі фізичних закономірностей виведено теоретичні залежності для визначення кількості атмосферної вологи на плаваючій покрівлі залежно від об'єму (зміни рівнів нафти) води на ній. Показано, як обчислити мінімальну кількість атмосферної води на покрівлі, кількість якої вимагає введення поправок при визначенні маси нафти в резервуарі статичним об'ємно-масовим методом. Даним дослідженням доведено необхідність введення поправок при визначенні рівня нафти в резервуарах з плаваючою покрівлею за умови наявності на покрівлі атмосферних опадів.

Ключові слова: нафтопровід, зберігання нафти в резервуарі, інтенсивність дощу, об'єм води на покрівлі, занурення покрівлі, облік нафти, рівень нафти.

Анализируются основные тенденции реконструкции и развития резервуарных парков системы магистрального транспорта нефти в Украине - использование резервуаров больших объемов с плавающей кровлей. Рассмотрена одна из причин, которая может затруднять эксплуатацию таких резервуаров - наличие жидких (в виде дождя) или твердых (снега и льда) атмосферных осадков в ней, что приводит к более глубокому погружению плавающей крыши резервуара в нефть. Проанализированы литературные источники по эксплуатации резервуаров с плавающей крышей и установлено, что в них практически отсутствуют данные замеров, по которым можно оценить влияние жидких атмосферных осадков на глубину погружения плавающих крыш резервуаров. Показана актуальность вопроса с точки зрения товарно-транспортных операций по учету нефти. Приведены результаты измерения уровней нефти в резервуаре штатными приборами при наличии и отсутствии дождевой воды на плавающей кровле (после дренажа последней через систему водоотведения) и результаты их обработки с целью определения разницы учтенной массы нефти в резервуаре из-за накопления воды на кровле с учетом физических свойств нефти и данных обработки калибровочных таблиц резервуара. Проанализированы результаты натурных замеров и предложен метод расчета изменения уровня нефти в резервуаре при наличии атмосферных осадков на крыше. Определение уровня нефти в резервуаре проводилось с помощью штатной системы типа ENRAF, а определение объемов нефти - по калибровочной таблице резервуара. На основании физических закономерностей выведены теоретические зависимости для определения количества атмосферной влаги на плавающей крыше в зависимости от объема (изменения уровней нефти) воды на ней. Показано, как вычислить минимальное количество атмосферной воды на кровле, количество которой требует введения поправок при определении массы нефти в резервуаре статическим объемно-массовым методом. Данным исследованием доказана необходимость введения поправок при определении уровня нефти в резервуарах с плавающей крышей при условии наличия на кровле атмосферных осадков.

Ключевые слова: нефтепровод, хранение нефти в резервуаре, интенсивность дождя, объем воды на крыше, погружение крыши, учет нефти, уровень нефти.

The authors analyze the main tendencies in the reconstruction and development of tank farms of the main oil transportation system in Ukraine, namely the use of large-volume tanks with a floating roof. The authors consider one of the reasons that can complicate the operation of such tanks that is the presence of liquid (in the form of rain) or solid (snow and ice) atmospheric precipitation on it, which leads to the additional immersion of the floating roof of the tank into oil. The literature on the exploitation of floating roof tanks has been analyzed and it is found out that there are practically no data of measurements on the basis of which it is possible to estimate the influence of liquid atmospheric precipitation on the depth of immersion of tank floating roofs. The article shows the topicality of the issue from the point of view of commodity-transport operations on oil metering. The authors show the results of measuring the oil levels in the tank with regular appliances in the presence and absence of rainwater on the floating roof (after drainage of the latter through the drainage system) and the results of their treatment in order to determine the difference in the accounted oil mass in the tank caused by the accumulation of water on the roof, taking into account oil physical properties and the data of processing of the gauge tables of the tank. The results of natural measurements are analyzed and a simplified method of calculating the depth of immersion of a roof in the presence of additional loads on it in the form of atmospheric precipitation is developed. The oil level in the tank was determined using a standard system of the ENRAF type, and the determination of oil volumes was done using the gauge table of the tank. Based on physical regularities, the authors derive theoretical dependencies to determine the amount of atmospheric moisture on the floating roof depending on the volume (changes of the oil levels) of water on it. It is shown how to calculate the minimum amount of atmospheric water on the roof, which leads to the need to introduce corrections while determining the mass of oil in the tank using a static volume-mass method. This research has proved the necessity of introducing corrections while determining the level of oil in the tanks with floating roofs when there is atmospheric precipitation on the roof.

Key words: oil pipeline; storage of oil in a tank; rain intensity; volume of water on the roof; immersion of the roof; oil metering; oil level.

Вступ. Однією із тенденцій у вітчизняній та закордонній практиці магістрального трубопроводного транспорту нафти є використання резервуарів великих об'ємів з плаваючою покрівлею. Магістральні нафтопроводи України експлуатуються АТ «Укртранснафта», яке широко використовує для технологічних потреб резервуари з плаваючою покрівлею об'ємом від 20000 м³ до 75000 м³ (МНТ "Південний", ЛВДС "Броди" та ін.). Є перспективні плани модернізації резервуарних парків нафтоперекачувальних станцій, при цьому у якості основних технологічних передбачається застосування саме резервуарів з плаваючою покрівлею. У рамках реалізації проекту зі створення в Україні мінімальних запасів нафти та нафтопродуктів, відповідно до Угоди про асоціацію Україна – ЄС також передбачається будівництво нових резервуарів. Резервуари з плаваючою покрівлею дозволяють значно скоротити втрати нафти від випаровування, сприяють пожежній та екологічній безпеці зберігання нафти [1, 2].

Конструкція плаваючої покрівлі резервуарів, що експлуатуються в Україні, практично однакова. Вона складається з понтонного кільця і центрального настилу. Покрівля рухається вздовж двох напрямних. Зазор між покрівлею і стінкою резервуара, а також між покрівлею і напрямними ущільнюється затворами. Це – найбільш поширений тип плаваючої покрівлі, досить простої і надійної.

При експлуатації резервуарів з плаваючою покрівлею виникає ряд складностей, однією з яких є можливе накопичення атмосферних опа-

дів на її поверхні. Останні у вигляді рідких (дошових) або твердих (снігу та льоду) навантажень призводять до додаткового занурення покрівлі у нафту, а у складних випадках – до перекоосу або навіть її заклинювання.

Додаткове занурення впливає на визначення рівня нафти в резервуарі, що слід враховувати при облікових операціях. При оперативному обліку нафти в резервуарах застосовується об'ємномасовий статичний метод. Суть цього методу полягає у визначенні об'єму за результатами вимірювання рівня нафти та даних таблиць поінтервального градування резервуара, а також густини нафти за однакових (або зведених до однакових) умов. Масу продукту визначають як добуток об'єму і густини. Звичайно, зміна рівня нафти в резервуарі через додаткове навантаження у вигляді атмосферних опадів призведе до певних похибок. Це визначає теоретичне і практичне значення дослідження впливу атмосферних опадів на облікові операції в резервуарах з плаваючою покрівлею.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженням умов роботи резервуарів з плаваючою покрівлею присвячено низку робіт. У роботах [3, 4] наведені основні відомості про конструкції резервуарів з плаваючою покрівлею, основи теорії, методики розрахунку навантажень, плавучості, остійності та міцності плаваючої покрівлі резервуара. Нормативні документи [5, 6] визначають основні положення з конструювання та розрахунку конструкцій резервуарів з плаваючою покрівлею та умови їх експлуатації



Рисунок 1 – Накопичення дощових опадів на поверхні плаваючої покрівлі

[7]. Робота [8] присвячена аналізу впливу рівномірно та нерівномірно розподілених снігових навантажень, що є характерним для умов експлуатації резервуарів у Російській Федерації, на глибину занурення плаваючої покрівлі. Також розглянуті умови роботи покрівлі у випадку її перекосу внаслідок можливого підтоплення суміжних відсіків короба покрівлі. У роботі [9] висловлена думка про необхідність врахування ваги рідких атмосферних опадів, що можуть накопичуватися на покрівлі резервуара, на його експлуатаційні характеристики.

Слід зауважити, що в літературних джерелах практично відсутні дані замірів, за якими можна оцінити вплив рідких атмосферних опадів на глибину занурення плаваючих покрівель резервуарів.

Метою досліджень є встановлення впливу дощових опадів на зміну рівня нафти в резервуарі з плаваючою покрівлею та його урахування при облікових операціях.

Для досягнення мети необхідно проаналізувати результати натурних замірів та розробити спрощений метод розрахунку зміни рівня нафти за наявності додаткових навантажень на покрівлі резервуара у вигляді атмосферної вологи.

Виклад основного матеріалу

Атмосферні опади у вигляді дощу та снігу є природними явищами. Інтенсивність дощових опадів на території України є досить значною. У географічних пунктах розміщення об'єктів з резервуарами з плаваючими покрівлями в середньому на рік вона складає: 742 мм (Броди), 453 мм (Одеса), 872 мм (Надвірна), 480 мм (Лисичанськ). Інтенсивність дощу на 1 га тривалістю 20 хв. дорівнює відповідно 109 л/с (для

Львова (Броди)), 93,2 л/с (для Одеси), 112 л/с (для Івано-Франківська (Надвірна)), 101 л/с (для Лисичанська) [10].

Для відведення атмосферних опадів з поверхні плаваючої покрівлі резервуари обладнуються системою водоспуску. Водоспуск складається з приймача опадів, системи труб, що з'єднані між собою сальниковими шарнірами, і нижнього поворотного вузла. За існуючою практикою експлуатації резервуарів з плаваючою покрівлею у нормальному положенні засув трубопроводу для дренажу дощової води закритий. Дренажу води проводять після закінчення зливи, оскільки знаходиться біля резервуара під час грози заборонено.

Потрапляючи на покрівлю резервуара, дощові опади накопичуються на ній через нерівність поверхні покрівлі та її конструктивні особливості (рисунок 1).

Після завершення процесу дренажу води на окремих ділянках покрівлі залишаються її скупчення (рисунок 2).

Для оцінювання кількості води на плаваючій покрівлі нами були використані дані замірів рівнів нафти до і після дренажу (таблиця 1) в резервуарі типу РВСПП-75000.

Визначення рівня нафти в резервуарі проводилося за допомогою штатної системи типу ENRAF, а визначення об'ємів нафти – за калібрувальною таблицею резервуара відповідно до вимог [7].

Обробка даних таблиці 1 дозволила отримати дані із зміни рівнів нафти до початку дренажу атмосферної води і після (таблиця 2).

Звичайно, об'єм нафти в резервуарі залишився таким самим, але за рахунок додаткового навантаження на покрівлю у вигляді води виникла суттєва похибка.

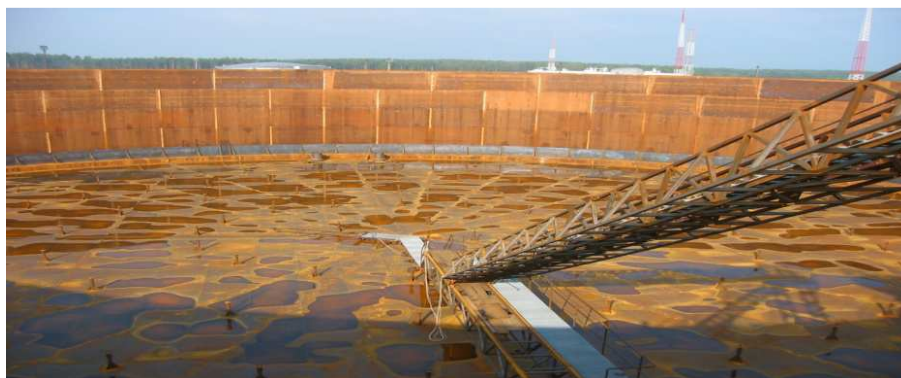


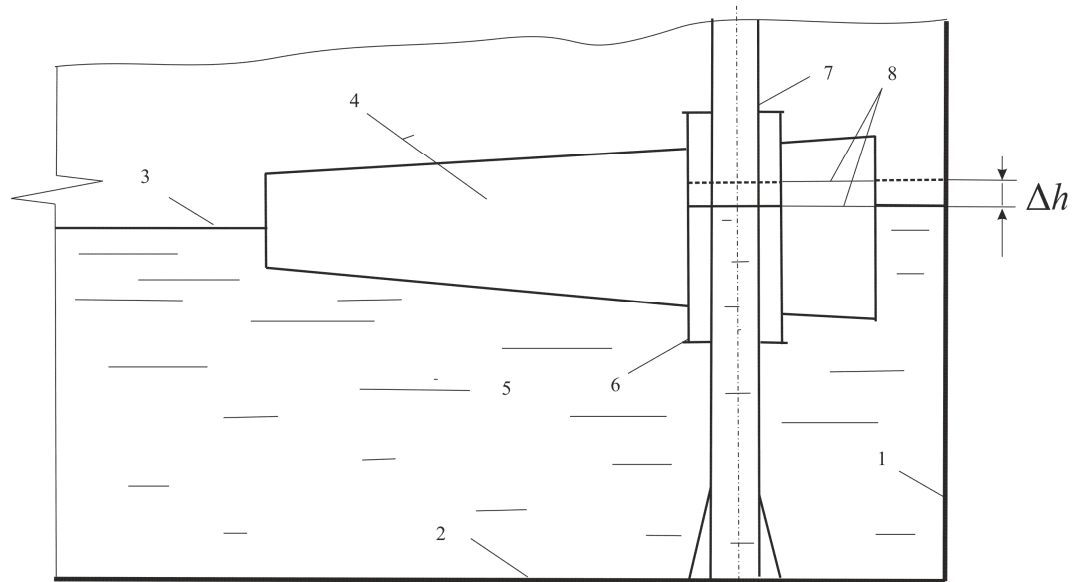
Рисунок 2 – Скупчення води на покрівлі резервуара через нерівності її поверхні

Таблиця 1 – Результати визначення технологічних параметрів нафти в резервуарі РВСПІ-75000 до і після дренажу води з покрівлі

Номер спостереження	Рівень нафти, мм			Об'єм нафти в резервуарі, м ³				
	початковий	за калібральною таблицею	кінцевий	за калібральною таблицею	за калібральною таблицею	початковий	за калібральною таблицею	кінцевий
1	9127	9120	9095	9090	36558,355	36586,876	36436,125	36456,497
		9130		9100	36599,099		36476,868	
2	6494	6490	6484	6480	25845,518	25861,829	25804,8	25821,111
		6500		6490	25886,295		25845,518	
3	3978	3970	3964	3960	15584,963	15617,533	15544,247	15560,532
		3980		3970	15625,675		15584,963	
4	7048	7040	7014	7010	28085,152	28117,729	27962,981	27979,269
		7050		7020	28125,873		28003,705	
5	5918	5910	5910	5910	23483,315	23515,892	23483,315	23483,315
		5920		5910	23524,036		23483,315	
6	5916	5910	5907	5900	23483,315	23507,749	23442,593	23471,099
		5920		5910	23524,038		23483,315	
7	6665	6660	6651	6650	26537,759	26558,119	26497,041	26501,113
		6670		6660	26578,478		26578,478	
8	12411	12410	12396	12390	49967,434	49971,512	49885,891	49910,357
		12420		12400	50008,211		49926,662	

Таблиця 2 – Вплив наявності атмосферної води на технологічні параметри експлуатації резервуара

Номер спостереження	1	2	3	4	5	6	7	8
Різниця рівнів нафти, мм	32	10	14	34	8	9	14	15
Різниця об'ємів нафти, м ³	130,38	40,72	57,00	138,46	32,58	36,65	57,01	61,15
Густина нафти, кг/м ³	858	859	860	861	862	863	864	865
Об'єм води на покрівлі, м ³	111,9	35	49,1	119,3	28,1	31,6	49,3	52,9
Еквівалентна товщина шару води, мм	33	10,3	14,5	35,2	8,3	9,3	14,5	15,6



1 – стінка резервуара; 2 – днище резервуара; 3 – настил плаваючої покрівлі;
4 – короб (понтонне кільце); 5 – нафта; 6 – отвір у коробі; 7 – напрямна покрівлі; 8 – рівні нафти

Рисунок 3 - Схема плаваючої покрівлі (затвори покрівлі і напрямної не показані)

Розглянемо теоретичні аспекти цієї проблеми. На рисунку 3 показана схема визначення рівня нафти в резервуарі з плаваючою покрівлю.

Для визначення рівня нафти в сучасних резервуарах з плаваючою покрівлю застосовують здебільшого радарні рівнеміри. Радарний пристрій – це автономний дистанційний вимірювальний прилад, жодна частина якого не вступає у безпосередній контакт із рідиною. Радарна система випромінює мікрохвилі у напрямку рідини, рівень якої розраховується за затримкою в одержанні відбитого з поверхні сигналу. Сканування відбувається у напрямній покрівлі.

При накопиченні дощової води на покрівлі, незалежно від характеру її розподілу на поверхні покрівлі, остання зануриться в них на певну глибину, витіснивши нафту у напрямній трубі на певну висоту Δh , яка може бути визначена з рівняння

$$\Delta h = \frac{V_2 - V_1}{\pi R^2}, \quad (1)$$

де V_1 - об'єм нафти, що витискається покрівлю за відсутності дощових опадів;

V_2 - об'єм нафти, що витискається покрівлю за наявності води на ній;

R - радіус резервуара.

Застосовуючи закон Архімеда, можемо записати баланс сил:

за відсутності води на покрівлі

$$G + F = V_1 \rho_n g; \quad (2)$$

за наявності води на покрівлі

$$G + V_6 \rho_w g + F = V_2 \rho_n g, \quad (3)$$

де G - вага покрівлі разом із обладнанням;

F - сила, що викликана тертям затворів покрівлі (останню приймемо рівною в обидвох випадках);

ρ_n - густина нафти;

ρ_w - густина води.

З вище наведених рівнянь знаходимо

$$V_2 - V_1 = V_6 \frac{\rho_w}{\rho_n}. \quad (4)$$

Тоді

$$\Delta h = V_6 \frac{\rho_w}{\rho_n \pi R^2}, \quad (5)$$

де V_6 - об'єм води на покрівлі.

За формулою (5), використовуючи дані таблиці (1), можна обчислити об'єм води на покрівлі залежно від різниці рівнів нафти за показами рівнеміра (таблиця 2), що ілюструється рисунком 4.

В обчисленнях прийнято, що густина води складає 1000 кг/м^3 , густина нафти приймалася за даними лабораторії якості на дату дренування і коливалася в межах від 859 кг/м^3 до 865 кг/м^3 .

Радіус резервуара в обчисленнях прийнятий рівним $36,02 \text{ м}$.

На цьому рисунку також показаний еквівалентний рівень води на покрівлі (конструктивно центральна частина покрівлі радіусом $32,85 \text{ м}$ має нахил від периферії до центру $1:100$, а сама покрівля – дефекти геометричної форми), тобто

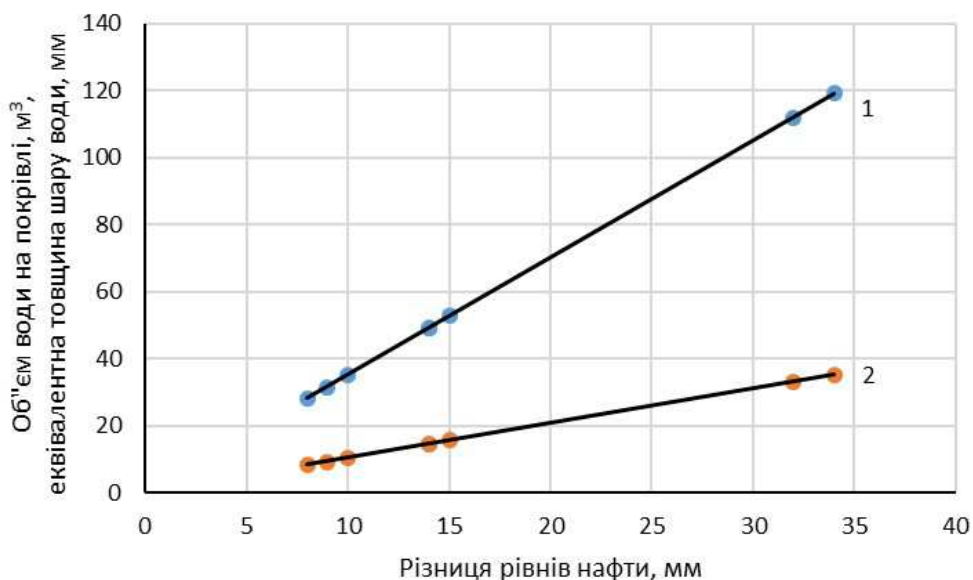


Рисунок 4 – Залежність об'єму води на плаваючій покрівлі (1) та еквівалентна товщина її шару (2) від різниці рівнів нафти за показами рівнеміра

фактичний об'єм води на покрівлі прирівнюється до об'єму циліндра певної висоти (рівня води) з радіусом, що дорівнює радіусу центральної частини покрівлі.

Враховуючи точність системи визначення рівня нафти в резервуарі (менше ± 2 мм), за формулою (1) нескладно обчислити об'єм води на покрівлі, що буде впливати на результати вимірювання кількості нафти в резервуарі. За середньої густини нафти 860 кг/м^3 такий мінімальний об'єм води становить 7 м^3 , що відповідає її еквівалентному шару на покрівлі товщиною близько 2 мм.

Тверді атмосферні опади за певних температурних умов можуть накопичуватися на поверхні плаваючої покрівлі, що також впливатиме на різницю рівнів нафти, і, відповідно, на точність облікових операцій в трубопроводному транспортуванні нафти.

Висновки

1. Проаналізовано дані промислових вимірювань рівнів нафти в резервуарі з плаваючою покрівлею в резервуарі РВСПП-75000 з метою оцінювання впливу рідких атмосферних опадів на зміну рівнів. Різниця рівнів нафти в резервуарі за наявності води та її відсутності за існуючими даними коливається у межах від 8 мм до 34 мм.

2. Виконано розрахунки об'ємів атмосферної води на плаваючій покрівлі резервуара РВСПП-75000, що була з неї здренована. За результатами розрахунків її об'єм складав від $28,1 \text{ м}^3$ до $119,3 \text{ м}^3$.

3 Дослідження впливу атмосферних опадів на зміну рівня нафти в резервуарі РВСПП-75000 показало доцільність та необхідність проведення подібних досліджень для ємкостей іншого об'єму з метою розробки практичних рекомендацій при облікових операціях в трубопроводному транспортуванні нафти.

Література

1. Середюк М. Д., Якимів Й. В., Лісафін В.П. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів : підручник. Івано-Франківськ, 2002. 517 с.
2. Лісафін В. П., Лісафін Д. В. Проектування та експлуатація складів нафти і нафтопродуктів : підручник. Івано-Франківськ : Факел, 2006. 597 с.
3. Бабин Л. А., Каравайченко М. Г., Жданов Р. А. Основы теории и расчет плавающей крыши резервуара : учебное пособие. Уфа : Уфимский нефтяной институт, 1990. 88 с.
4. Каравайченко М. Г., Бабин Л. А., Усманов Р. М. Резервуары с плавающей крышей : монография. М. : Недра, 1992. 236 с.
5. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище $93,3 \text{ кПа}$. [Чинні від 1994-10-01]. К. : Південдіпронафтопрод, 1994. 98 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинні від 2007-01-01]. К. : Мінбуд України, 2006. 75 с.

7. СОУ 60.3-31570412-036:2010. Магістральні нафтопроводи. Резервуари сталеві для зберігання нафти. Правила експлуатування. [Чинний від 2010-12-28]. К. : ВАТ "Укртранснафта", 2010. 197 с.

8. Косяков В. В., Рашитов Р. Ф. Вопросы расчета снеговых нагрузок на плавающую крышу резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. *Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов*. 2013. № 3. С. 20-23.

9. Лісафін В. П. Оцінювання впливу атмосферних опадів на облік нафти в резервуарах з плаваючою покрівлею. *Міжнародний науко-вий журнал*. 2016. Вип. 6. Том 1. С. 49-51.

10. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинні від 2014-01-01]. К. : Міністрів України, 2013. 128 с.

8. Kosyakov V. V., Rashitov R. F. Voprosy rascheta snegovyh nagruzok na plavayushuyu kryshu rezervuarov dlya hraneniya nefi i nefteproduktov. *Nauka i tehnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov*. 2013. No 3. P. 20-23.

9. Lisafin V. P. Ocinyuvannya vplivu atmosfernih opadiv na oblik nefi v rezervuarah z plavayuchoyu pokrivleyu. *Mizhnarodnij naukovij zhurnal*. 2016. Vyp. 6. Tom 1. P. 49-51.

10. DBN V.2.5-75:2013. Kanalizaciya. Zovnishni merezhi ta sporudi. Osnovni polozhennya proektuvannya. [Chinni vid 2014-01-01]. Kyiv : Minregion Ukrayini, 2013. 128 p.

References

1. Seredyuk M.D., Yakimiv J.V., Lisafin V.P. *Truboprovodnij transport nafty i naftoproduktiv : pidruchnik*. Ivano-Frankivsk, 2002. 517 p.

2. Lisafin V. P., Lisafin D. V. *Proektuvannya ta ekspluataciya skladiv nafty i naftoproduktiv : pidruchnik*. Ivano-Frankivsk : Fakel, 2006. 597 p.

3. Babin L. A., Karavajchenko M. G., Zhdanov R. A. *Osnovy teorii i raschet plavayushej kryshi rezervuara : uchebnoe posobie*. Ufa : Ufimskij neftjanoj institut, 1990. 88 p.

4. Karavajchenko M. G., Babin L. A., Usmanov R. M. *Rezervuary s plavayushej kryshej: monografiya*. Moskva : Nedra, 1992. 236 p.

5. VBN V.2.2-58.2-94. *Rezervuari vertikalni stalevi dlya zberigannya nafty i naftoproduktiv z tiskom nasichenih pariv ne vishe 93,3 kPa*. [Chinni vid 1994-10-01]. Kyiv : Pivdendipronaftprovid, 1994. 98 p.

6. DBN V.1.2-2:2006. *Sistema zabezpechennya nadijnosti ta bezpeki budivelnih ob'ektiv. Navantazhennya i vplivi. Normi proektuvannya*. [Chinni vid 2007-01-01]. Kyiv : Minbud Ukrayini, 2006. 75 p.

7. SOU 60.3-31570412-036:2010. *Magistralni naftoprovodi. Rezervuari stalevi dlya zberigannya nafty. Pravila ekspluatuvannya*. [Chinnij vid 2010-12-28]. Kyiv : VAT "Ukrtransnafta", 2010. 197 p.