

УДК 624.074.4

Р. О. Кайдалов, Г. М. Маренко

ДО ОДНОГО ІЗ СПОСОБІВ ЗАПРАВЛЕННЯ АВТОМОБІЛІВ РІДКИМ ПАЛЬНИМ В УМОВАХ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ПОВЕНІ

Проаналізовано існуючі способи та запропоновано новий спосіб заправки автомобілів в умовах ліквідації наслідків повені. Наведено результати попередніх експериментальних досліджень процесу заправки та отримано математичну модель визначення напружено-деформованого стану еластичного резервуара і процесу перетікання рідини під час заправки автомобілів.

Постановка проблеми. В останні роки для багатьох країн Європи, в тому числі й України, типовими є надзвичайні ситуації природного характеру. За даними багаторічних спостережень [1] найбільш небезпечними є повені (близько 30 %), зсуви, обвали і лавини (21 %), урагани і смерчі (по 14 %). Найнебезпечнішим гідрометеорологічним районом в Україні останнім часом є Карпатські гори. Повені завдають великої матеріальної шкоди народному господарству та спричиняють людські жертви.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час ліквідації наслідків повені гостро постають питання забезпечення техніки паливом та її заправки, особливо у місцях зі зруйнованими мостами, переправами, пошкодженою дорожньою мережею тощо. Доставка пального у такі важкодоступні райони і заправки автомобільної техніки за допомогою існуючих засобів, автопаливозаправників (АПЗ), автопаливомастилозаправників (АПМЗ) і автомобільних цистернам з паливом утруднена або взагалі неможлива.

Наприклад, АПЗ-8-255Б і АПМЗ-5,5-4310 на базі автомобілів КрАЗ-255Б і КамАЗ-4310 можуть долати брід по твердому ґрунту глибиною до 1,0 м [4]. Як правило, під час повені глибина броду в Закарпатті перевищує цей показник. Зафіксовано максимум рівня води на р. Тиса в районі Рахова 5,15 м, а біля Хуста – 4,93 м [3].

Аналіз існуючих засобів і способів заправки автомобільної техніки свідчить про те, що вони не забезпечують заправки автомобілів у районах, які “відрізані” повинню від пунктів заправки, шляхи розв’язання цієї задачі в джерелах інформації не описано [5].

Метою статті є визначення можливості заправки автомобільної техніки у зазначених умовах.

Виклад основного матеріалу. Одним із можливих варіантів транспортування пального в райони ліквідації наслідків повені є використання повітряних або водних засобів. У такому випадку паливо може бути в сталевих бочках, каністрах або бідонах, що потребує додаткового застосування засобів його перекачування. У разі відсутності станцій перекачування пального, мотонасосних установок для пального тощо трудомісткість і час заправки значно збільшуються, що може вплинути на хід ліквідації наслідків повені та врятування життя людей.

Доставка пального у металевих резервуарах повітряними засобами передбачає наявність місць приземлення для цих засобів, що не завжди можливо в умовах повені. Альтернативним варіантом є закачування пального в гумотканеві резервуари, які можна скидати без парашутів з висоти до 25 м, а також доставляти паливо по воді [6].

Існуючі способи заправки машин паливом базуються на принципі перетікання рідини із однієї ємності (резервуара) в іншу під дією зовнішніх сил. При цьому перетікання рідини можливе самопливом, коли ємність з паливом розташована вище паливного баку, або з використанням різних насосів.

Узагальнено заправки автомобілів зазначеними способами можна представити як процес, що відбувається в системі “ємність (резервуар) з паливом – засіб перекачування (джерело енергії) – машина, що потребує заправки”. Одним із шляхів підвищення живучості такої системи є зменшення числа її елементів. Це дозволяє висунути гіпотезу, яка стверджує, що для підвищення

живучості механічної системи заправлення автомобілів “машина – резервуар з паливом” як засіб перекачування можна використати вагу машини, що заправляють.

Зазначена гіпотеза передбачає використання еластичних резервуарів, які забезпечуватимуть витіснення пального із них під час руху автомобіля. Підрозділи служби пально-мастильних матеріалів оснащені еластичними резервуарами для зберігання і транспортування пального [7].

Резервуари являють собою замкнену оболонку, виготовлену з гумотканевого матеріалу (рис. 1), що складається з внутрішнього маслобензостійкого гумового шару 1, поліамідної протидифузійної плівки 2, капронового силового шару 3 і зовнішнього атмосферостійкого гумового шару 4. Гумотканевий матеріал виготовляють механізованим способом у вигляді окремих невулканізованих полотнищ, де всі шари з'єднані між собою спеціальними клеями 5 [8].

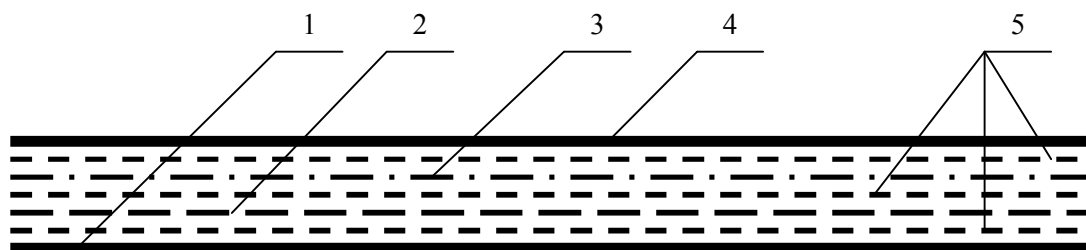


Рис. 1. Будова гумотканевого матеріалу

Застосування еластичних резервуарів для зберігання і доставки пального обумовлено такими їх перевагами [6, 8] у порівнянні з металевими резервуарами:

- незначна маса порівняно з масою пального, що в них перевозять;
- можливість згортання в рулон невеликого об'єму, що забезпечує необхідну транспортабельність у порожньому стані;
- малий питомий тиск на ґрунт у заповненому стані, що дозволяє розгортати резервуари на будь-якій місцевості, зокрема на болоті чи снігу;
- можливість доставки по воді;
- виключення забруднення продуктами корозії, тому що матеріал гумотканевих резервуарів не кородує і, як наслідок, не потребує спеціальних антикорозійних покриттів;
- можливість проведення завантажувально-розвантажувальних робіт без використання засобів механізації;
- можливість скидання пального в резервуарах без парашутів з висоти до 25 м.

Сутність запропонованого способу заправлення автомобілів рідким паливом полягає в закачуванні пального в еластичний резервуар, підкладанні його під колеса автомобіля, подальшому наїзді на нього і витісненні пального в паливний бак вагою автомобіля, що заправляється [9, 10]. Такий спосіб дозволить заправляти автомобілі в польових умовах без використання засобів заправлення. Схема зазначеного способу заправлення представлена на рис. 2.

Запропонований спосіб заправлення автомобілів рідким паливом має низку особливостей:

- невизначеність закону зміни тиску рідини в резервуарі під час наїзду на нього колесом автомобіля;
- складність урахування реальних властивостей рідини під час створення тиску рідини в резервуарі і її перетікання у напірному рукаві;

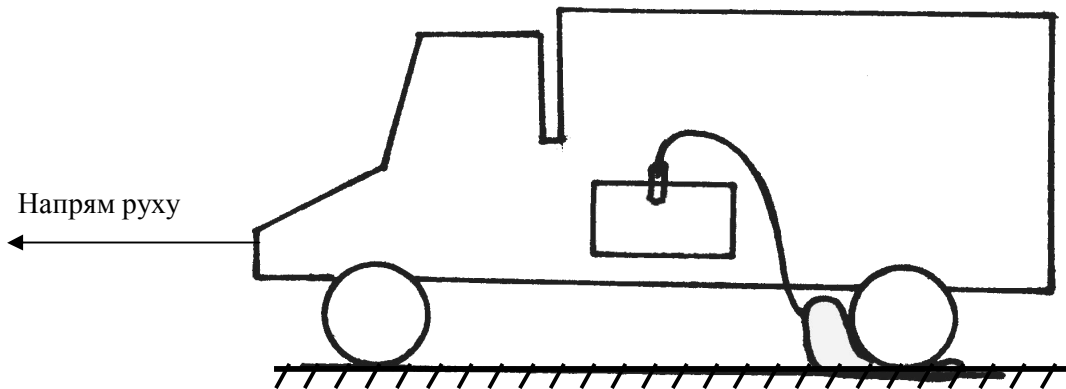


Рис. 2. Схема прискороного заправлення автомобіля

- невизначеність процесу взаємодії протектора шини колеса автомобіля з резервуаром;
- обмеженість геометричних розмірів резервуара; його ширина в стисненому стані не повинна перевищувати ширину колеса; довжина резервуара має бути меншою, ніж відстань від переднього до заднього колеса автомобіля; діаметр напірного рукава на ділянці з'єднання з горловиною паливного баку не повинен перебільшувати її діаметр.

Наведені особливості запропонованого способу прискороного заправлення потребують проведення теоретико-експериментальних досліджень процесу витіснення рідкого пального із еластичного резервуара в паливний бак машини під час наїзду на нього колесом автомобіля.

Метою проведених попередніх досліджень було:

- підтвердити принципову можливість витіснення рідини із еластичного резервуара під час наїзду на нього колесом автомобіля;
- дослідити особливості процесу витіснення рідини із еластичного резервуара у процесі наїзду на нього колесом автомобіля;
- розробити математичну модель напружено-деформованого стану еластичного резервуара та процесу перетікання рідини під час прискороного заправлення автомобіля.

Експериментальна модель еластичного резервуара мала форму подушки шириною 0,25 і довжиною 0,5 м і представляла собою замкнену гумову оболонку із завулканізованими торцями. На відстані 0,05 м від одного з торців резервуара розміщено металевий штуцер, до якого приєднувався напірний рукав із армованої прозорої гуми для спостереження за особливостями перетікання рідини.

Експериментальні дослідження проводили таким чином: модель еластичного резервуара заповнювали рідиною і підкладали під колесо автомобіля. Для наїзду на резервуар використовувались автомобілі УАЗ-31512 та ГАЗ-3309. Довжина напірного рукава складала 1,5 м. Мірна ємність розміщувалась на висоті паливного бака автомобіля (1,0 м). Напірний рукав одним кінцем приєднувався до штуцера і закріплювався хомутом, а іншим кінцем з'єднувався з мірною ємністю. Під час наїзду колесом автомобіля на резервуар спостерігали зміну його форми під дією ваги автомобіля і процес перетікання рідини під тиском у напірному рукаві в мірну ємність.

Проведені попередні експериментальні дослідження довели, що:

- модель еластичного резервуара під час і після наїзду колесом не розривалась, пошкоджень не мала і була придатна до подальшого використання;
- частина рідини із напірного рукава після наїзду колесом під дією власної ваги поверталась в резервуар;
- використання моделі з металевим штуцером для кріплення напірного рукава потребує точності підкладання резервуара під колесо.

Таким чином, проведені попередні експериментальні дослідження підтверджують принципову можливість витіснення рідини із еластичного резервуара під час наїзду на нього колесом автомобіля, а їх результати необхідно враховувати у складанні розрахункової схеми процесу прискороного заправлення.

Зазначена схема представлена на рис. 3. У момент наїзду колесом автомобіля 1 зі швидкістю v_a на еластичний резервуар 2 він деформується, в результаті чого в ньому утворюється надлишковий тиск $p_{рез}$ рідини. Рідке паливе під дією надлишкового тиску $p_{рез}$ прямуватиме до напірного рукава 3, діаметр якого d , і далі перетікатиме в паливний бак машини 4, що розміщений на висоті h_2 .

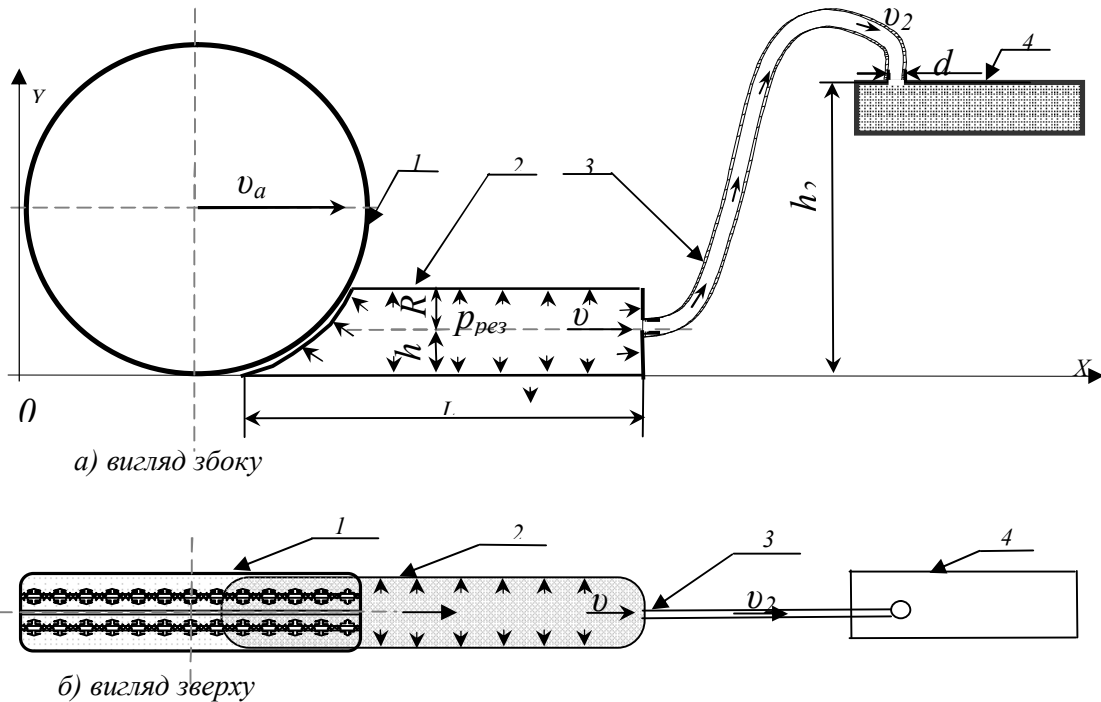


Рис. 3. Розрахункова схема процесу прискореного заправлення автомобіля

Процес заправлення можливий за умови відсутності розриву резервуара під час наїзду на нього автомобілем. Тому математичний опис системи “колесо машини – резервуар з паливом” складають модель з визначення напружено-деформованого стану резервуара та модель перетікання рідини.

Задачу з визначення напружено-деформованого стану еластичного резервуара та перетікання рідини розв’язують поетапно.

На першому етапі проведемо дослідження залежності напружень та деформацій, що виникають в стінках уздовж резервуара у процесі створення надлишкового тиску рідини від наїзду колесом автомобіля.

Враховуючи складність математичного опису процесу витіснення рідини із еластичного резервуара під час наїзду на нього колесом автомобіля, зробимо такі припущення:

- вважатимемо, що частина резервуара з паливом, на яку ще не наїхало колесо, набирає форму циліндричної вісесиметричної оболонки (див. рис. 4), навантаженої внутрішнім змінним надлишковим тиском;
- вважатимемо, що проекція зони контакту колеса з еластичним резервуаром має форму прямокутника та не змінюється під час руху автомобіля;
- деформаціями, що виникають у місці контакту колеса з еластичним резервуаром, зневажатимемо (крайовий ефект оболонки не враховується).

Теоретичною базою для розв’язування цієї задачі є основні положення технічної теорії міцності м’яких оболонок, яка заснована на загальному нелінійному підході, але припускає виділення деякого основного напруженого стану і лінеаризацію системи рівнянь оболонки [11].

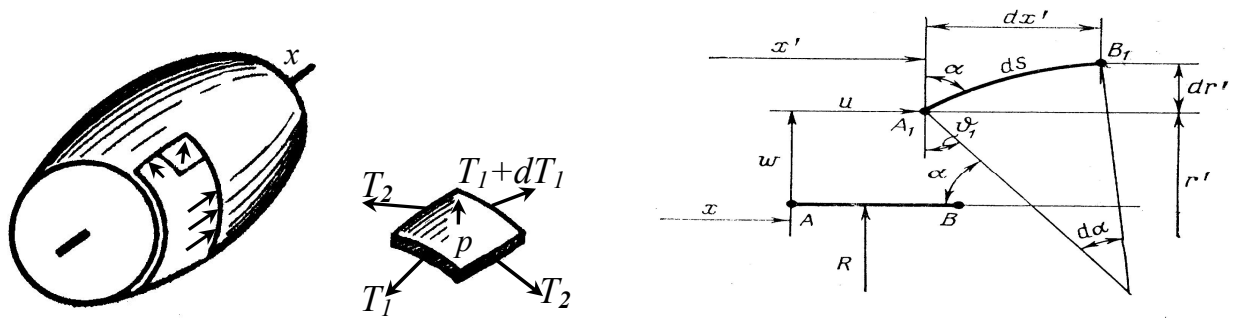


Рис. 4. Схема переміщення елемента оболонки в початковому (AB) і деформованому (A_1B_1) станах
 Попередні експериментальні дослідження показали, що у процесі наїзду колесом на еластичний резервуар з пальним, внутрішній надлишковий тиск, що утворюється, є змінною величиною.

На другому етапі розв'язують задачу процесу перетікання рідини із резервуара під час наїзду на нього колесом автомобіля. Для визначення параметрів потоку рідини, таких як витрата, швидкість перетікання, об'єм та час перетікання рідини, застосоване основне рівняння гідродинаміки.

Повна математична модель визначення напружено-деформованого стану еластичного резервуара та процесу перетікання рідини під час прискореного заправлення автомобілів буде мати вигляд [12]:

$$p_{pez} = \rho \cdot g \cdot (h_2 - h_1) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left[\left(\frac{S_1^2 \cdot v_1^2}{S_2^2} \right) - v_1^2 \right] + \sum h_n;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\omega}{R};$$

$$T_1 = E \cdot h_0 \left[\frac{1 + \varepsilon_1}{1 + \varepsilon_2} - \frac{1}{(1 + \varepsilon_1)^3 \cdot (1 + \varepsilon_2)^3} \right];$$

$$T_2 = E \cdot h_0 \left[\frac{1 + \varepsilon_2}{1 + \varepsilon_1} - \frac{1}{(1 + \varepsilon_1)^3 \cdot (1 + \varepsilon_2)^3} \right];$$

$$\frac{dT_1}{dx} + (T_1 - T_2) \cdot \frac{1 + \varepsilon_1}{1 + \varepsilon_2} \cdot \frac{1}{R} \cdot \cos \alpha = 0;$$

$$\frac{d\alpha}{dx} + \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{1 + \varepsilon_1}{1 + \varepsilon_2} \cdot \frac{1}{R} \cdot \sin \alpha = \frac{p_{pez}}{T_1} \cdot (1 + \varepsilon_1);$$

$$\frac{d\omega}{dx} - (1 + \varepsilon_1) \cdot \cos \alpha = 0;$$

$$\frac{du}{dx} + 1 - (1 + \varepsilon_1) \cdot \sin \alpha = 0;$$

$$\sigma_{2 \max} = \frac{T_{2 \max}}{h_0};$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \left(p_{pez} + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 - \rho \cdot g \cdot h_2 - \sum h_n \right)}{\rho}};$$

$$Q_2 = S_2 \cdot v_2;$$

$$t = \frac{L}{v_1};$$

де $p_{рез}$ – надлишковий тиск у резервуарі; ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння; h_1 , h_2 – висота; S_1 – площа поперечного перерізу резервуара; S_2 – площа поперечного перерізу напірного рукава; v_1 – швидкість руху рідини у резервуарі; $\sum h_n$ – сумарна втрата повного напору; ε_1 , ε_2 – відносні деформації; u , ω – переміщення; R – радіус резервуара; T_1 , T_2 – погонні сили натягу; E – модуль пружності другого роду матеріалу резервуара; h_0 – товщина стінки резервуара; α – кут між віссю обертання резервуара і нормаллю до деформованої поверхні; v_2 – швидкість руху рідини в напірному рукаві; Q_2 – об’ємна витрата рідини із резервуара; t – час перетікання рідини із резервуара; L – довжина резервуара.

Початкові умови: при $t = 0$, $v_1 = v_a$, де $0 < v_a < 4$.

$$\text{Граничні умови: } \omega(0) = 0, u(0) = 0, \alpha\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{\pi}{2}, T_1\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{p_{рез}(R + \omega)}{2}.$$

Отримана математична модель дозволяє визначати напружено-деформований стан і параметри процесу перетікання рідини із еластичного резервуара у процесі наїзду колесом автомобіля.

Для проведення теоретичних досліджень напружено-деформованого стану еластичного резервуара та процесу перетікання рідини за допомогою математичної моделі були задані такі значення параметрів і діапазони їх зміни: $\rho = 700 \dots 1000$ кг/м³; $g = 9,81$ м/с²; $h_1 = 0,075 \dots 0,2$ м; $h_2 = 0 \dots 1,5$ м; $S_1 = 0,015 \dots 0,2$ м²; $S_2 = 0,0003 \dots 0,007$ м²; $v_1 = 0 \dots 4$ м/с; $\lambda_m = 0,01 \dots 0,05$; $\zeta_1 = 0,01 \dots 0,1$; $\zeta_2 = 0,01 \dots 0,15$; $\zeta_3 = 0,005 \dots 0,2$; $l = 1 \dots 2,5$ м; $d = 0,01 \dots 0,09$ м; $p_{рез} = 10000 \dots 1000000$ Па; $R = 0,075 \dots 0,2$ м; $h_0 = 0,0003 \dots 0,003$ м; $E = 1440 \dots 8000$ МПа; $L = 0,5 \dots 3$ м.

Для випадку $L = 0,5$ м, $R = 0,1$ м, $h_0 = 0,003$ м, $E = 1400$ МПа, σ_{max} дорівнюватиме 53 МПа, що менше $[\sigma] = 70$ МПа, тоді $t = 1,5$ с, $Q_2 = 0,002$ м³/с.

Висновки

1. Підтверджена принципова можливість витіснення рідкого пального із еластичного резервуара у процесі наїзду на нього колесом автомобіля. Модель резервуара під час і після наїзду колесом не розривалась, пошкоджень не мала і була придатна до подальшого використання.

2. Розроблена математична модель напружено-деформованого стану еластичного резервуара та процесу перетікання рідини із нього під час прискореного заправлення дозволяє оцінювати геометричні та міцнісні параметри резервуара і визначати об’єм витісненої рідини з урахуванням зміни її тиску в резервуарі у процесі руху колеса по ньому зі змінною швидкістю.

3. Результати розрахунків за математичною моделлю співпадають з результатами попередніх експериментальних досліджень (еластичний резервуар не розривається під час наїзду колесом автомобіля) та дозволяють використовувати її для визначення параметрів системи “машина – резервуар з паливом”.

4. Використання запропонованого способу заправлення автомобілів як додаткового разом з існуючими способами підвищить ефективність виконання завдань з ліквідації наслідків повені.

Отже, хоча результати, отримані за допомогою математичної моделі, співпадають з результатами попередніх експериментальних досліджень, особливості запропонованого способу прискореного заправлення автомобілів потребують уточнення більшості діючих параметрів системи. Тому виникає необхідність у проведенні детальних експериментальних досліджень, спрямованих на удосконалення математичної моделі.

Список використаних джерел

1. Долгин Н. Прогноз основных опасностей до 2010 года / Н. Долгин, В. Малышев // Военные знания. – 2001. – № 1. – С. 37 – 38.

2. Прес-служба МОУ. З метою оперативного реагування // Нар. армія. – 2003. – № 52. – С. 2.
3. Кроль І. Паводок в Закарпаття / І. Кроль // Технополис. – 2001. – № 3. – С. 45.
4. Рунец М. А. Справочник автомобільного механіка / М. А. Рунец. – М. : Транспорт, 1976. – 272 с.
5. Ковтун А. В. Аналіз способів заправки паливом автомобілів і бойових машин підрозділів внутрішніх військ МВС України в польових умовах / А. В. Ковтун, Р. О. Кайдалов // Честь і закон. – 2003. – № 1. – С. 20–23.
6. Митрич В. Мягкие контейнеры для заправки горючим / В. Митрич // Зарубежное военное обозрение. – 1986. – № 5. – С. 78.
7. Керівництво по роботі військових складів пального Збройних Сил України. – К. : Варта, 1999. – 146 с.
8. Лыков М. В. Резервуары из эластичных материалов / М. В. Лыков, Ю. М. Михеев. – М. : Транспорт, 1964. – 36 с.
9. Ковтун А. В. До одного із способів заправки автомобілів рідким паливом в умовах надзвичайних ситуацій / А. В. Ковтун, Р. О. Кайдалов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Наукові праці КДПУ. – 2003. – Вип. 2 (19), Т. 3. – С. 164 – 166.
10. Пат. 73015 Україна, В60S5/02. Спосіб прискореної заправки автотранспортного засобу рідким паливом в польових умовах / Кайдалов Р. О. – № 2003054469; заявл. 19.05.03; опубл. 16.05.05, Бюл. № 5. – 3 с. : фіг.
11. Балабух Л. И. Строительная механика ракет / Л. И. Балабух, Н. А. Алфутов, В. И. Усюкин. – М. : Высш. шк., 1984. – 391 с.
12. Ковтун А. В. Математична модель напружено-деформованого стану м'якого резервуара, навантаженого внутрішнім змінним тиском / А. В. Ковтун, Р. О. Кайдалов // Механіка та машинобудування: наук.-техн. журн. – Х. : НТУ "ХПІ". – 2004. – № 1. – С. 67 – 72.

Стаття надійшла до редакції 31.05.2010 р.