

УДК 621.644:621.833.15

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.62-69>

**Ю.В. Кулешков**, проф., д-р. техн. наук, **Т.В. Руденко**, доц., канд. техн. наук,  
**М.В. Красота**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький,  
Україна*

*e-mail: r-t-v@mail.ua*

## Енергозберігаючий гідропривід механізму піднімання кузова автомобіля-самоскида

В даній статті запропоновано конструкцію оригінального гідроприводу механізму піднімання кузова автомобіля-самоскиду. Особливістю даної гідросистеми є використання гідроаккумулятора високого тиску, плунжерних насосів, системи керування, при цьому шестеренний насос та його привід від двигуна автомобіля, характерні для серійного механізму піднімання, в пропонованій схемі відсутні. Як джерело енергії, необхідної для піднімання кузова, пропонується використовувати не двигун внутрішнього згорання, як в серійних гідроприводах, а гідроаккумулятор з підзарядженням від коливань підресорних мас автомобіля.

**плунжерний насос, робоча рідина, гідравлічний акумулятор**

**Ю.В. Кулешков**, проф., д-р. техн. наук, **Т.В. Руденко**, доц., канд. техн. наук, **М.В. Красота**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна*

**Энергосберегающий гидропривод механизма подъема кузова автомобиля-самосвала**

В статье предложено конструкцию оригинального гидропривода механизма подъема кузова автомобиля-самосвала. Особенностью данной гидросистемы является использование гидроаккумулятора высокого давления, плунжерных насосов, системы управления, при этом шестеренный насос и его привод от двигателя автомобиля, характерные для серийного механизма подъема, в предложенной схеме отсутствуют. В качестве источника энергии, необходимой для подъема кузова, предлагается использовать не двигатель внутреннего сгорания, а гидроаккумулятор с подзарядкой от колебаний поддресорных масс автомобиля.

**плунжерный насос, рабочая жидкость, гидравлический аккумулятор**

**Постановка проблеми.** На сучасних автомобілях-самоскидах найбільшого поширення набули гідравлічні приводи механізму піднімання кузова. Привід гідравлічного насосу гідроприводу здійснюється від двигуна внутрішнього згорання автомобіля. Існуючі конструкції механізмів піднімання є компактними, надійними, безпечними в роботі, характеризуються плавністю руху кузова і високою швидкістю дії, мають великий термін служби.

Однак, функціонування об'ємного гідроприводу самоскида потребує додаткової витрати енергії на здійснення розвантажувальних операцій та, відповідно, витрати пального, яке витрачається автомобільним двигуном, що негативно позначається на економічній ефективності технологічної експлуатації автомобіля-самоскида.

Дана робота присвячена пошуку нових, енергозберігаючих та ефективних, з економічної точки зору, конструкцій гідроприводів механізму піднімання кузова, а отже є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В процесі вивчення джерел науково-технічної інформації [1-4], були проаналізовані існуючі конструкції механізмів піднімання платформи автомобілів-самоскидів, та встановлено, що найбільш поширеними є ті, що використовують гідравлічний привід. Всі наведені в літературі конструкції ґрунтуються на використанні енергії від двигунів внутрішнього згорання автомобіля.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є пошук альтернативних конструкцій гідроприводу механізму піднімання кузова самоскида, які працюють без споживання енергії від двигуна внутрішнього згорання автомобіля, а отже забезпечують енергозбереження та економічну ефективність технологічної експлуатації автомобіля.

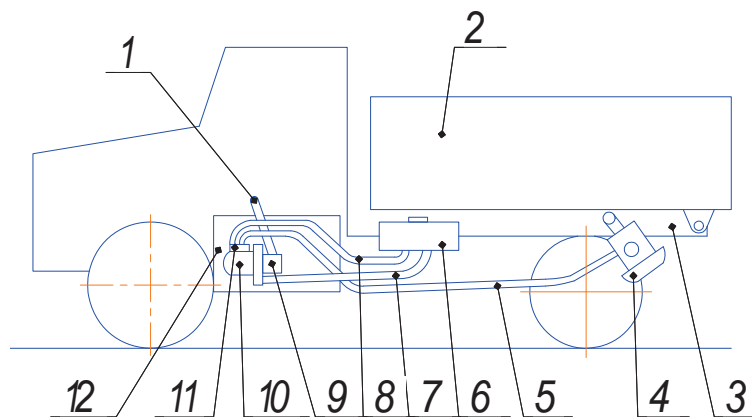
**Викладення основного матеріалу.** На автомобілях-самоскидах застосовують, в основному, підйомний механізм з гідравлічним приводом, насос якого працює від двигуна внутрішнього згорання автомобіля.

При використанні гідравлічного приводу можливі два варіанти конструкцій підйомного механізму:

- з гідравлічними циліндрами шарнірно з'єднаними з платформою кузова;
- з гідравлічними циліндрами та важільно-балансирною системою руху платформи кузова.

Розглянемо типову конструкцію гідроприводу механізму піднімання на прикладі поширеного автомобіля ЗИЛ.

В гідравлічний привід підйомного механізму самоскида ЗИЛ входять (рис. 1): коробка відбору потужності 9, гідравлічний насос 10, гідравлічний розподільник 11, гідроциліндр 4, масляний бак 6 і трубопроводи 5, 7, 8. Гідравлічний телескопічний циліндр піднімає платформу, повертаючи її відносно нижніх шарнірів кріплення кузова.



- 1 – важіль керування; 2 – платформа; 3 – рама; 4 – гідравлічний циліндр;  
 5 – нагнітальна гідролінія; 6 – масляний бак; 7 – всмоктувальна гідролінія; 8 – зливна магістраль;  
 9 – коробка відбору потужності; 10 – гідравлічний насос; 11 – гідравлічний розподільник;  
 12 – коробка передач

Рисунок 1 – Схема розташування складових підйомного механізму на автомобілі ЗИЛ  
 Джерело: [1]

Принцип дії гідравлічного приводу підйомного механізму автомобіля ЗИЛ, показаного на рис. 1, полягає в наступному.

При перемиканні важеля керування в положення «Піднімання» золотник гідро розподільника 11 займає положення I, гідравлічний насос 10 всмоктує робочу рідину з

масляного бака 6 по всмоктувальному трубопроводу 7 і подає її по нагнітальному трубопроводу 5 до гідроциліндра 4. Запобіжний клапан відкривається при збільшенні тиску робочої рідини в магістралі до 14 МПа і перепускає її назад в бак по зливній магістралі 8. Під дією тиску робочої рідини з гідравлічного циліндра 4 висувається шток, що призводить до піднімання платформи кузова автомобіля.

При встановленні важеля керування в положення II, під дією ваги кузова, робоча рідина з гідроциліндра через гідролінію, розподільник і зливну магістраль зливається в бак, а шток гідроциліндра заходить назад в гідроциліндр.

Виконаємо аналіз енерговитрат та вартості виконання операцій розвантаження автомобіля-самоскида.

Орієнтовну вартість одного піднімання кузова визначимо на прикладі автомобіля ЗИЛ вантажопідйомністю 6,5 т.

При підніманні кузова довжиною  $L$  на кут  $\alpha = 55^\circ$ , верхня його частина підніметься на висоту

$$h_1 = L \cdot \sin \alpha . \quad (1)$$

При цьому нижня частина кузова, що шарнірно встановлена на рамі автомобіля, відповідно буде знаходитися на висоті  $h_2 = 0$ .

Тоді, еквівалентна висота піднімання кузова складе

$$h = 0,5 L \sin \alpha . \quad (2)$$

Якщо товщина насипу вантажу складе  $b$ , то висота піднімання кузова і вантажу складе

$$h = 0,5 L \sin \alpha + 0,5 b . \quad (3)$$

Тоді, робота, виконана гідравлічним приводом механізму піднімання, складе

$$A = 0,5 \cdot F_T \cdot (0,5 L \sin \alpha + 0,5 b) \quad (4)$$

Знаючи масу вантажу і кузова, знайдемо зусилля, яке необхідно створити гідроциліндру для забезпечення піднімання кузова

$$F_T = (6500 + 1000) \cdot 9,81 = 73575 \text{ Н.}$$

Тоді, при висоті насипу  $b = 1,2$  м і довжині кузова  $L = 4$  м робота складе

$$A = 0,5 \cdot 73575 \cdot (4 \cdot \sin 55^\circ + 0,5 \cdot 1,2) = 142610 \text{ Дж.}$$

Знайдемо загальний ККД гідравлічного приводу механізму піднімання кузова за формулою

$$\eta_{об} = \prod_{i=1}^k \eta_i . \quad (5)$$

Останній вираз можливо записати у вигляді:

$$\eta_{об} = \eta_{ДВС} \cdot \eta_{ПГ} \cdot \eta_{Г} \cdot \eta_{МП} , \quad (6)$$

де  $\eta_{ДВС}$  – ККД двигуна автомобіля,  $\eta_{ДВС} = 0,2$ ;

$\eta_{ПГ}$  – ККД гідравлічного приводу,  $\eta_{ПГ} = 0,9$ ;

$\eta_{МП}$  – ККД механізму піднімання кузова,  $\eta_{МП} = 0,7$ ;

$\eta_{Г}$  – ККД гідросистеми, в свою чергу можна визначити як

$$\eta_{Г} = \eta_{Н} \cdot \eta_{ГР} \cdot \eta_{К} , \quad (7)$$

де  $\eta_{Н}$  – ККД шестеренного насоса,  $\eta_{Н} = 0,7$ ;

$\eta_{ГР}$  – ККД гідророзподільника,  $\eta_{ГР} = 0,9$ ;  
 $\eta_K$  – ККД клапанних механізмів,  $\eta_K = 0,9$ ;  
Тоді, ККД гідросистеми складе.

$$\eta_G = \eta_H \cdot \eta_{ГР} \cdot \eta_K = 0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,56 .$$

Тоді, загальний ККД приводу складе

$$\eta_{об} = \eta_{ДВЗ} \cdot \eta_{ПГ} \cdot \eta_G \cdot \eta_{МО} = 0,2 \cdot 0,9 \cdot 0,56 \cdot 0,7 = 0,07 .$$

Енергія, необхідна для піднімання платформи самоскида, може бути визначена за формулою

$$E = \frac{A}{\eta_{заг}} . \quad (8)$$

Тоді,  $E = \frac{142610}{0,07} = 2037285$  Дж.

Теплотворна здатність бензину  $Q = 40$  МДж/кг або  $Q = 32$  МДж/л

Теплота згорання 1 кг бензину 40 МДж, а 1 л  $40 \cdot 0,8 = 32$  МДж.

Тоді, обсяг бензину, витрачений на одне піднімання кузова складе:

$$V_{бен} = \frac{E}{Q_{бен}} = \frac{2037285}{32 \cdot 10^6} = 0,07 \text{ л.} \quad (9)$$

Вартість бензину становить 30 грн/л, отже витрати на паливо, пов'язані з підніманням кузова складуть

$$C_{нід} = 30 \cdot 0,07 = 2,1 \text{ грн.}$$

Прийmemo кількість піднімань кузова за одну зміну 10, тоді

$$C_{нід.зм} = 2,1 \cdot 10 = 21 \text{ грн.}$$

Звідки річні витрати складуть

$$C_p = 21 \cdot 250 = 5250 \text{ грн.}$$

Для зниження енерговитрат та економії палива, що витрачається на виконання технологічної операції піднімання кузова, пропонується внести зміни до конструкції гідроприводу механізму піднімання.

Суть запропонованих змін полягає в тому, що як джерело енергії, необхідної для піднімання кузова, пропонується використовувати не двигун внутрішнього згорання, як в серійних гідроприводах, а гідроакумулятор з накопиченою від коливань підресорених мас автомобіля енергією робочої рідини.

Для акумулювання енергії, необхідної для піднімання кузова автомобіля пропонується оригінальна гідросистема, схема якої наведена на рис. 2.

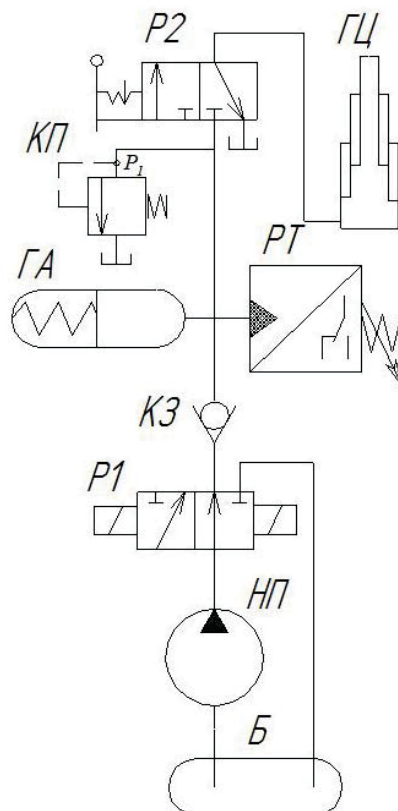


Рисунок 2 – Гідралічна схема об'ємного гідроприводу піднімання кузова самоскида  
Джерело: розроблено автором на підставі [5]

Особливістю даної гідросистеми є використання гідроаккумулятора ГА високого тиску, плунжерних насосів НП, системи керування в вигляді клапанів КЗ, КП, реле тиску РТ та розподільників Р1, Р2. При цьому, шестеренний насос та його привід від двигуна автомобіля, характерні для серійного механізму піднімання, в пропонуваній схемі відсутні.

Гідросистема працює в двох режимах: режим накопичення енергії та режим піднімання кузова.

В режимі накопичення енергії робоча рідина, що знаходиться в гідралічному баку Б (рис. 2), по всмоктувальному трубопроводу надходить до плунжерного насоса НП.

Конструктивні особливості та принцип дії даного насоса будуть розглянуті нижче.

На схемі (рис. 2) насос нагнітає робочу рідину до трилінійного двопозиційного гідророзподільника Р1 з електромагнітним керуванням тип 573. В даному режимі роботи гідросистеми розподільник відкритий, і робоча рідина вільно надходить через зворотний клапан КЗ до гідралічного акумулятора ГА. При цьому, розподільник Р2 залишається закритим, в результаті чого гідроаккумулятор ГА починає заряджатись.

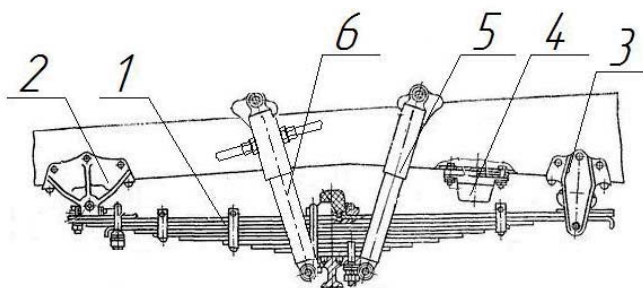
Тиск всередині гідросистеми збільшується до величини налаштування запобіжного клапана КП. Як тільки тиск сягне максимального значення, спрацьовує реле тиску РТ, сигнал з якого надходить до розподільника Р1, в результаті чого насос НП з'єднується із зливною лінією, а на пульті керування у водія спрацює світловий індикатор.

В режимі піднімання кузова водій автомобіля перемикає важіль розподільника Р2 в положення «підйом» і робоча рідина з гідравлічного акумулятора надходить до телескопічного гідроциліндра ГЦ, піднімаючи там самим кузов самоскида.

Після вивантаження кузова, водій перемикає важіль гідророзподільника в положення «опускання», і кузов автомобіля під дією власної ваги опускається донизу, тим самим повертаючи гідроциліндр в початкове положення.

Розглянемо окремо роботу плунжерного насоса НП.

Плунжерний насос 6 (рис. 3) пропонується встановити в підвіску автомобіля, до складу якої входить напівеліптична ресора 1, закріплена своїми кінцями в кронштейнах 2, 3 на рамі автомобіля та зафіксована середньою частиною за допомогою двох стрем'янок на балці мосту автомобіля.



1 – ресора, 2 – переднє кріплення, 3 – заднє кріплення, 4 – буфер, 5 – амортизатор, 6 – плунжерний насос

Рисунок 3 - Підвіска автомобіля з встановленим плунжерним насосом

*Джерело: розроблено автором на підставі [3]*

При русі автомобіля, відбуваються коливання підресорених мас автомобіля, енергія яких гаситься пружним елементом – ресорою та гідравлічним амортизатором підвіски.

Енергію цих коливань пропонується накопичувати при переміщенні автомобіля з вантажем та використати в подальшому для здійснення технологічної операції піднімання кузова.

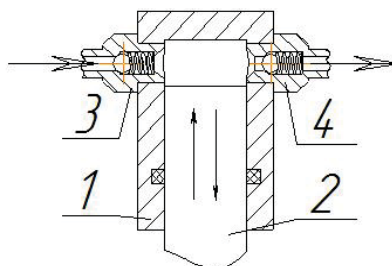
Для рекуперації енергії коливань в підвісці пропонується встановлювати плунжерний насос, який працюватиме паралельно з гідравлічним амортизатором 5 (рис. 3).

Конструкція плунжерного насоса представлена на рис. 4. Насос складається з корпусу 1, який шарнірно закріплений на рамі автомобіля, а його плунжер 2 шарнірно з'єднаний з мостом автомобіля.

При русі автомобіля відбуваються коливання підресорених мас автомобіля, при цьому ці маси здійснюють переміщення відносно мосту. Дані переміщення забезпечують роботу плунжерного насоса.

Плунжерний насос працює наступним чином. При русі плунжера насоса догори (рис. 4), робоча рідина, що знаходиться в робочій камері насоса, відкриває нагнітальний клапан 4, звідки потрапляє в нагнітальну лінію гідросистеми. При зворотному русі плунжера насоса, в робочій камері утворюється розрідження, через що відкривається всмоктуючий клапан 3, через який робоча рідина надходить до робочої камери насоса.





1 – корпус, 2 – плунжер, 3 – всмоктуючий клапан, 4 – нагнітальний клапан

Рисунок 4 - Схема роботи плунжерного насоса

*Джерело: розроблено автором на підставі [4]*

Таких насосів на автомобілі може бути декілька, вони можуть частково виконувати функцію амортизатора підвіски, тому в змінній конструкції в підвісках можливо використовувати амортизатори меншої енергоємності.

**Висновки.** В даній статті запропоновано конструкцію оригінального гідроприводу механізму піднімання кузова автомобіля самоскиду.

Особливістю даної гідросистеми є використання гідроакумулятора високого тиску, плунжерних насосів, системи керування, при цьому шестеренний насос та його привід від двигуна автомобіля, характерні для серійного механізму піднімання, в пропонуваній схемі відсутні. Як джерело енергії, необхідної для піднімання кузова, пропонується використовувати не двигун внутрішнього згорання, як в серійних гідроприводах, а гідроакумулятор з накопиченою від коливань підресорених мас автомобіля енергією робочої рідини.

Розраховано економію, що може бути отримана за рахунок зниження витрати палива при проведенні розвантажувальних операцій одним автомобілем за рік, яка складає 5250 грн.

## Список літератури

1. Ершов Б.В., Залетаев М.В. Автомобиль ЗИЛ-130 и его модификации: альбом конструкций автомобиля. Москва: Колос, 1965. 381 с.
2. ЗИЛ-131 и его модификации: руководство по эксплуатации / отв. ред. А.Г. Зарубин. Москва: Машиностроение. 1977. 360 с.
3. В.И. Борисов. Автомобили ГАЗ-53А, ГАЗ 66: руководство по эксплуатации. Москва: Транспорт, 1969. 366с.
4. Круговой В.М., Румшевич И.Н., Мамчур Г.Н. Автомобили КРАЗ. Москва: Транспорт. 1968. 320 с.
5. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика: учебное пособие / Г.А. Ааврунин и др. Харьков: ХНАДУ, 2008. 412 с.

## References

1. Ershov, B.V., Zaletaev, M.V. (1965). Avtomobil' ZIL-130 i ego modifikacii [ZIL-130 car and its modifications]. Moscow. Kolos [in Russian].
2. Zarubin, A.G. (1977). ZIL-131 i ego modifikacii [ZIL-131 and its modifications]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
3. Borisov, V.I. (1969). Avtomobili GAZ-53A, GAZ 66 [Cars GAZ-53A, GAZ 66]. Moscow: Transport [in Russian].
4. Krugovoj, V.M., Rumshevich, I.N., Mamchur, G.N. (1968). Avtomobili KRAZ [KRAZ cars]. Moscow: Transport [in Russian].
5. Aavrunin, G.A., Gricaj, I.V., Kirichenko, I.G., Moroz, I.I., Shherbak, O.V. (2008). Obemnyj gidroprivod i gidropnevmoavtomatika [Volumetric hydraulic drive and hydropneumatic automation]. Kharkov : HNADU [in Russian].

**Yuriy Kuleshkov**, Prof., Dsc., **Timofey Rudenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mikhail Krasota**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Energy-efficient Hydraulic Actuator of the Dumper Carcass Lift Mechanism**

The goal of researching is finding alternative constructions of hydraulic actuator of the carcass lifting device, which are working without using internal combustion engine energy and, consequently, guarantee energy saving and economical effect of technological car using.

In the article it was offered the construction of original hydraulic actuator of the carcass lifting device. The feature of such hydraulic system is using hydraulic accumulator of high pressure, plunger pumps, control systems, herewith gear pump and its drive from car engine, which are specific for serial lifting mechanism, in the offered scheme are not present. As a source of energy, which is needed to lift the carcass, was offered not to use the internal combustion engine, but hydraulic accumulator with recharging from chattering of the car sprung mass.

The feature of this hydrosystem is the use of a high pressure accumulator, plunger pumps, control system, with the gear pump and its drive from the engine of the car, typical for the serial lift mechanism, in the proposed scheme are absent. As a source of energy necessary for lifting the body, it is proposed not to use an internal combustion engine, as in serial hydraulic drives, and a hydraulic accumulator with the energy of the working fluid accumulated from the oscillations of the submerged car's masses.

Was counted the economy, which can be earned by the reducing of the fuel uses, during realization of unloading operations of one car per year.

**plunger pump, working fluid, hydraulic accumulator**

*Одержано (Received) 23.11.2018*

*Прорецензовано (Reviewed) 11.12.2018*

*Прийнято до друку (Approved) 20.12.2018*

**УДК 681.513.5**

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.69-78>

**Oleksij Lobok**, PhD phys.&math. Sci., **Boris Goncharenko**, Prof., DSc.

*National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine*

**Larisa Vihrova**, Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

**Marina Sych**, PhD tech. sci.

*National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine, Kyiv*

## **Synthesis of Modal Control of Multidimensional Linear Systems in Agricultural Production Based on Linear Matrix Inequalities**

The paper gives a solution to the problem of constructing modal regulators for linear multidimensional systems in agricultural production that provide  $D$ -stability (asymptotic stability) of the control object. The control is represented as regulators providing feedback on the output of the control object, and uses the full and low order observers of Luenberger. To calculate the matrices of the regulators, we use the technique of linear matrix inequalities and generalize the Lyapunov stability concept ( $D$  - stability). The theorems are given which give necessary and sufficient conditions for  $D$  - stability of the controlled system.