

**Lyudmyla Tarandushka**, Assoc. Prof., DSc., **Alla Yovchenko**, PhD tech. sci.  
*Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*

### **Parametric Design of 3D Models of crank Mechanism of a Car with CAD Solidworks**

The main possibilities of SolidWorks CAD for parameterization of complex mechanisms on the example of crank mechanism (CM), including operations of forming volumes, methods of working with sketches, technologies of forming assembly units using coupling tools are investigated.

The use of parameterization will increase the efficiency of development and design of standard mechanisms and parts. At the same time the parametrized assembly design of CM in SolidWorks CAD is formed, which allows to quickly reconstruct CM details, to carry out calculation of the given details on durability with the SolidWorks Simulation module connected. As a result of the analysis the main possibilities of SolidWorks CAD for parameterization of complex mechanisms on the example of CM parameterization are considered. When designing parametric models of CM elements and forming the assembly structure of the CM node, the methods of working with sketches, operations of forming volumes, technologies of forming assembly units with the use of conjugation tools are considered. As a result, a parameterized assembly of the CM in the SolidWorks system is formed, which allows not only to quickly rebuild the parts of the CM, but also to calculate the strength of these parts with the SolidWorks Simulation module connected using the finite element method.

That is, with the use of parametric models significantly reduces the cost of product design, reduces computing resources, time ratio simulation - prototyping by automating the calculation process and building a 3D model.

**parametrization, mathematical model, crank mechanism, modeling, design**

*Одержано (Received) 09.05.2021*

*Прорецензовано (Reviewed) 17.05.2022*

*Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022*

**УДК 669.539**

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.201-205](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.201-205)

**Р.І. Розум**, доц., канд. техн. наук, **М.В. Буряк**, доц., канд. техн. наук, **П.Б. Прогній**, доц., канд. техн. наук, **Н.М. Фалович**, доц., канд. екон. наук, **О.С. Шевчук**, доц., канд. техн. наук, **П.В. Попович**, проф., д-р техн. наук

*Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна*

**О.П. Захарчук**, доц., канд. техн. наук

*ВСП ФКЕПІТ Тернопіль, Україна*

*e-mail: rozoom\_ruslan@ukr.net, burjak74@ukr.net, kaf\_tl@wunu.edu.ua, n.falovych@gmail.com, oksana\_shevchuk84@ukr.net, ppopovich@ukr.net, olenaskyba8500@gmail.com*

## **Експлуатаційна надійність і роботоздатність вантажного автомобільного рухомого складу**

В статті проаналізовано причини відмов конструкцій транспортних засобів, що належать до складних систем. З метою забезпечення експлуатаційної надійності та роботоздатності вантажного автомобільного рухомого складу, а саме несучих рам автомобільних вантажних напівпричепів і причепів під час їх експлуатації. Досліджено надійність вантажного автомобільного рухомого складу з урахуванням 2000 годин експериментальних випробувань на машино-випробувальній станції під час транспортних робіт, у тому числі 3,5 тис. циклів навантаження-розвантаження, що становить 50 % напрацювання. Зазначено, що організація транспортної роботи машино-випробувальної станції не зовсім збігається з реальними умовами експлуатації, що впливає на показники надійності: наприклад, зростають готовність і середній час до відмови, а відмовність зменшується.

**експлуатаційна надійність, роботоздатність, автомобільний рухомий склад, вантажний автомобільний рухомий склад**

**Постановка проблеми.** Одним із показників експлуатаційної надійності та роботоздатності транспортних засобів є їх корозійне зношування. Найбільш інтенсивно дані процеси проходять в елементах, що мають безпосередній контакт із агресивними середовищами (кузова, транспортери тощо).

Вантажні автомобільні перевезення міцно закріпилися на лідируючих позиціях в транспортній галузі. Відомо, що якість перевезень визначається технічними характеристиками рухомого складу, а також його експлуатаційною надійністю та роботоздатністю. У зв'язку з цим, проблеми дослідження експлуатаційної надійності та роботоздатності вантажного автомобільного рухомого складу, а також пошук шляхів їх підвищення є актуальним завданням сучасного машинобудування.

Дослідження показників вантажного автомобільного рухомого складу, виконувалося із врахуванням експериментальних даних, що були отримані за допомогою машино-випробувальної станції обсягом 2000 год в режимі транспортної роботи, у тому числі 3,5 тис. циклів навантажувально-розвантажувальних операцій, що становить 50 % напрацювання. Очевидним є те, що дослідження транспортних процесів за допомогою машино-випробувальних станцій не можуть у повній мірі відповідати реальним умовам роботи вантажних автомобільних причепів, що має значний вплив на показники надійності їх роботи: наприклад, відбувається підвищення показників готовності та середнього напрацювання на відмову, зниження показника потоку відмов тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Так, Підгурським М.І. [1], в процесі дослідження величини та характеру корозійного впливу на роботоздатність причепів, встановлено, що відсоток відмов окремих елементів причепа до сумарної їх кількості має наступний вид: робочі органи – 44 %, кузов і рама – 32 %, елементи транспортера – 24 %. У процесі транспортування добрив проходять процеси підвищеного корозійного впливу, що зумовлює потребу проведення капітальних ремонтів причепів уже після лише трьох років такої їх експлуатації. Також, дослідник відмічає, що після проведення капітального ремонту термін служби причепів становив до двох років.

У тракторах та зернозбиральних комбайнах, які поступають на перший капремонт після 2 – 3 річної експлуатації, спостерігається, що корозійному руйнуванню піддаються деталі та складальні одиниці у тракторів – 150 найменувань, у комбайнів – 224 найменувань. Площі поверхневого корозійного пошкодження деталей і складальних одиниць становили до 90 % від їх поверхні [2].

У роботах [3, 4] розроблені аналітичні моделі, що дозволяють встановити залишкову довговічність несучих рам причепів враховуючи вплив зовнішнього середовища.

**Постановка завдання.** Метою статті є провести дослідження показників вантажного автомобільного рухомого складу враховуючи експериментальні дані отримані за допомогою машино-випробувальної станції. Відповідно до одержаних результатів провести синтез раціональних несучих конструкцій напівпричепів і причепів.

**Виклад основного матеріалу.** В експериментальних дослідженнях було задіяно 60 бортових напівпричепів та 20 бортових причепів різних фірм. Експеримент тривав впродовж 12 місяців. Напівпричепа та причепа були задіяні у перевезенні різного роду штучних і насипних вантажів.

Середнє напрацювання до відмови основних елементів досліджуваних напівпричепів і причепів, а також відсоток елементів, що вийшли з ладу протягом проведення експерименту (4 тис. год) має наступний вигляд:

Для напівпричепів:

- кузов – 238 (100 %);

- несуча рама – 394 (100 %);

- елементи підвіски – 438 (100 %);
- ходова – 401 (100 %);
- гальмівна система – 499 (64 %);
- електрообладнання – 502 (91 %);
- гідро обладнання – 483 (86).

Для причепів:

- кузов – 297 (100 %);
- несуча рама – 742 (73 %);
- елементи підвіски – 806 (49 %);
- ходова – 497 (100 %);
- гальмівна система – 658 (81 %);
- електрообладнання – 794 (100 %)
- гідро обладнання – 837 (100%).

Отже, як бачимо, елементи, що піддаються впливу змінних навантажень, володіють недостатнім ресурсом. Із усіх елементів напівпричепів і причепів особливої уваги заслуговує несуча рама, оскільки вона є базовим елементом та обмежує їх експлуатаційну надійність та роботоздатність загалом.

Найбільш поширеними відмовами несучих рам усіх видів напівпричепів і причепів є виникнення тріщин зварних швів, пластичних деформацій і тріщин лонжеронів та поперечини. З проведеного експерименту видно, що практично усі досліджувані транспортні засоби мали проблеми із несучою рамою при напрацюванні лише 20 – 30 % від експлуатаційного терміну. Причини відмов і час напрацювання на відмову є різними, а їх виникнення обумовлене впливом низки випадкових подій. Аналіз сукупності причин виникнення відмов дозволяє зробити висновки щодо причинно-наслідкового характеру подій, що зумовлюють ту чи іншу відмову. Оцінка самої структури відмов це важливий етап системності щодо забезпечення експлуатаційної надійності та роботоздатності як несучих рам так і напівпричепів і причепів в цілому.

Проводячи аналіз експериментальних даних можна побачити, що основними причинами відмов несучих рам є виробничі дефекти, а також помилки на етапі проектування. У зв'язку з вище сказаним загальний відсоток відмов, що спричинені помилками в процесі проектування та виробництва, може становити понад 50 %. Оцінюючи причини руйнування зварних швів, бачимо, що дане явище відбувається у зв'язку із впливом низки непов'язаних між собою чинників. В цілому, можна сказати, що чинники, які викликають концентрацію внутрішніх напружень та подальше утворення та розвиток тріщин зварних з'єднань, становлять до 1/2. Загалом, згідно статистики, кількість дефектів у погонному метрі зварного шва в машинобудуванні – 6,1 [5]. Причиною відмов у автомобільній техніці є конструктивні недопрацювання в процесі проектування (до 1/3), відмови пов'язані з низькою якістю виробничих і складальних операцій (до 1/3), низьким технічним рівнем та незадовільною якістю матеріалів і комплектуючих (до 2/5), відмови пов'язані із неправильною експлуатацією транспортних засобів автотранспортними підприємствами та низьким рівнем кваліфікації обслуговуючого персоналу (до 1/5), інші відмови – до 1/10 [6].

У стратегічному контексті проведення конструювання несучих рам автомобільних транспортних засобів із прогнозуванням ресурсу їх роботи, можна забезпечити лише за умови належного проведення системної багатокритеріальної оцінки несучої здатності несучих рамних конструкцій. Такого роду підхід є складною науковою задачею, розв'язок якої потребує значної кількості проведення експериментальних досліджень із використанням методологічного апарату моделювання напружено-деформованого стану.

**Висновки.** Отже, підсумовуючи вищесказане можна зробити висновок, що комплексний аналіз експлуатаційної надійності та роботоздатності вантажного автомобільного рухомого складу повинен складатися з наступних етапів:

1. Проведення аналітичної оцінки напружено-деформованого стану конструктивних елементів транспортного засобу із використанням методу кінцевих елементів, що дозволить провести моделювання напружено-деформованого стану в тому числі й несучих рам враховуючи усі сили, які мають на них вплив, що, в свою чергу, забезпечить умови дослідження можливих причин відмов, а отже і втрати експлуатаційної надійності та роботоздатності;

2. Проведення багатокритеріального розрахунку інтегральних показників навантаженості по кожному елементу транспортного засобу. Методологія визначення критеріїв оцінки експлуатаційної надійності та роботоздатності вантажного автомобільного рухомого складу відбувається у наступній послідовності:

- формування аналітичної методики дослідження коефіцієнтів інтенсивності напруженого стану та тріщиноформування у замкнутих і відкритих контурах;

- проведення корегування залежностей визначення коефіцієнтів напруженого стану для тріщин, що виникають у зонах температурного впливу;

- побудова діаграм навантаженості та тріщиностійкості зварних з'єднань конструкцій транспортних засобів.

3. Вибір раціональних конструктивних елементів за рахунок моделювання експлуатаційної надійності та роботоздатності вантажного автомобільного рухомого складу, що адекватно відображають процеси експлуатації транспортних засобів.

## Список літератури

1. Підгурський М.І. Методи прогнозування ресурсу несучих і функціональних систем бурякозбиральних комбайнів : дис. д-ра техн. наук / Тернопіль: ТДТУ, 2007. 338 с.
2. Шурич К.В. Прогнозирование и повышение усталостной долговечности несущих систем сельскохозяйственных тракторных средств : дис. д-ра техн. наук / Оренбург: ОПИ, 1994. 423с.
3. Popovych, P. V., Shevchuk, O. S., etc. (2016). The service life evaluation of fertilizer spreaders undercarriages. *INMATEH*, 50 (3), 39–46.
4. Шевчук О. С., Селіванова Н. Надійність металокопункцій причепів. *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Т. : ТНТУ, 2020. С. 45.
5. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металокопункцій: підручник. К.: Основа, 2021. 400 с.
6. Сухенко Ю.Г. Технологія автомобілебудування: навчальний посібник. К.: Університет «Україна», 2011. 161 с.
7. Попович П.В., Шевчук О.С. Організація діяльності автомобільного транспорту як функції безпеки дорожнього руху . *Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти*: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 17 листопада 2017 року). – Кривий Ріг, 2017. С. 180-184.
8. Попович П.В., Шевчук О., Мурований І. Підвищення ефективності технологій перевезень організаційними шляхами надання транспортних послуг . *Вісник ХНТУСГ*. 2017. Вип. № 184. С. 124-130.
9. Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень у сучасних умовах / П. В. Попович, О. С. Шевчук, А. Й. Матвіїшин, В. М. Лотоцька . *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 2. С. 224-229.

## References

1. Pidhurs'kyj, M.I. (2007). Metody prohnozuvannia resursu nesuchykh i funktsional'nykh system buriakozbyral'nykh kombajniv [Methods of forecasting the resource of bearing and functional systems of beet harvesters]. *Doctor's thesis*. Ternopil': TDTU [in Ukrainian].
2. Schuryn, K.V (1994). Prohnozyrovanye u povyshenye ustalostnoj dolhovechnosti nesuschykh system sel'skokhoziazstvennykh traktornykh sredstv [Forecasting and increasing the fatigue life of the bearing systems of agricultural tractors]. *Doctor's thesis*. Orenburh: OPY [in Ukrainian].

3. Popovych, P.V., Shevchuk, O.S., etc. (2016). The service life evaluation of fertilizer spreaders undercarriages. *INMATEH*, 50 (3), 39–46 [in Ukrainian].
4. Shevchuk, O.S. & Selivanova, N. (2020). Nadijnist' metalokonstruktsij prycheviv [Reliability of metal structures of trailers]. Fundamental and applied problems of modern technologies : *Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsia do 60-richchia z dnia zasnuvannia Ternopil'skoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Ivana Puliuia ta 175-richchia z dnia narodzhennia Ivana Puliuia (14-15 travnia 2020 r.) – International Scientific and Technical Conference for the 60th anniversary of the founding of Ternopil National Technical University named after Ivan Puluy and the 175th anniversary of the birth of Ivan Puluy* (pp. 45). Ternopil' : TNTU [in Ukrainian].
5. Bykovskiy, O.H. (2021). *Zvariuvannia, rizannia j kontrol' iakosti pid chas vyrobnytstva metalokonstruktsij: pidruchnyk [Welding, cutting and quality control during production of metal structures]*. Kyiv : Osnova [in Ukrainian].
6. Sukhenko, Yu.H. (2011). *Tekhnolohiia avtomobilebuduvannia [Automotive technology]*. Kyiv: Universytet «Ukraina» [in Ukrainian].
7. Popovych, P.V. & Shevchuk, O.S. (2017). Orhanizatsiia diial'nosti avtomobil'noho transportu iak funktsii bezpeky dorozh'noho rukhu [Organization of road transport as a function of road safety]. Road traffic safety: legal and organizational aspects: *XII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia* (m. Kryvyj Rih, 17 lystopada 2017 r.). – *International Scientific and Practical Conference* (pp.180-184) . Kryvyj Rih [in Ukrainian].
8. Popovych, P.V., Shevchuk, O. & Murovanyj, I. (2017). Pidvyschennia efektyvnosti tekhnolohij perevezenn' orhanizatsijnymy shliakhamy nadannia transportnykh posluh [Increasing the efficiency of transportation technologies through organizational ways of providing transport services] . *Visnyk KhNTUSH – Herald of KhNTUSG, Issue 184*, 124 - 130. [in Ukrainian].
10. Popovych, P.V., Shevchuk, O.S., Matviishyn, A.J. & Lotots'ka, V.M. (2016). Doslidzhennia tendentsij rozvytku rynku vantazhnykh avtomobil'nykh perevezenn' u suchasnykh [Study of trends in the development of the road freight transportation market in modern conditions] . *Visnyk Zhytomyr's'koho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Bulletin of the Zhytomyr State University of Technology. Series: Technical sciences*, 2, 224-229. [in Ukrainian].

**Ruslan Rozum**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykola Buryak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Pavlo Prohni**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Natalia Falovych**, Assoc. Prof., PhD econ. sci., **Oksana Shevchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Pavlo Popovich**, Prof., DSc.

*Western Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine*

**Olena Zakharchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*VSP FKEPIT, Ternopil, Ukraine*

### **Improving the Efficiency of Technical Operation of Trucks**

The article analyzes the causes of failures of vehicle structures belonging to complex systems. In order to ensure the operational reliability and operability of freight rolling stock, namely the supporting frames of automotive cargo semi-trailers and trailers during their operation.

The chosen topic is relevant today, because the automotive industry is firmly in the lead in the transport industry. It is known that the quality of transportation is determined by the technical conditions of rolling stock. This is especially important if the rolling stock is represented by vehicles

The reliability of freight rolling stock was studied, taking into account 2000 hours of experimental tests at the machine-test station during transport works, including 3.5 thousand loading and unloading cycles, which is 50% of the operating time. It is noted that the organization of transport work of the machine-test station does not exactly coincide with the real operating conditions, which affects the reliability indicators: for example, readiness and average failure time increase, and failure decreases.

Structural analysis of the fault complex is an important part of a comprehensive system to ensure the reliability and survivability of the supporting frame of the car trailer. Generally speaking, the main causes of metal failures are manufacturing defects (production stage) and design errors (design stage), and the overall failure rate due to poor design and production quality can be over 50%. The analysis of the causes of failure of welded metal structures shows that the influence of a single factor on its frequency in emergency situations, factors related to stress concentration and subsequent development of cracks, is up to half. Of these, breakdowns due to design defects at the design stage and poor quality of manufacture and assembly of machines are about a quarter each, and due to low technology and low quality materials - more than a third, due to violations of vehicle rules and low quality staff - every tenth.

**operational reliability, operability, automobile rolling stock, freight automobile rolling stock**

*Одержано (Received) 15.05.2022*

*Прорецензовано (Reviewed) 19.05.2022*

*Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022*