

ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ ПРИВОДІВ ІЗ КУЛЬКОВИМИ ОБГІННИМИ МУФТАМИ

Кириченко І. Г.¹, Малащенко В. О.², Проценко В. О.³, Сологуб Б. В.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Національний університет «Львівська політехніка»

³Херсонський національний технічний університет

Анотація. У статті наведено конструкційні та силові особливості кулькової обгінно-запобіжної муфти, яка може ефективно застосовуватися в кінематично-силових приводах, що передають навантаження тільки в одному напрямку й запобігають перевантажень робочих органів механічних машин. Відомо, що роликіві обгінні муфти передають навантаження внаслідок тертя заклинених роликів між поверхнями ведучих та ведених півмуфт і під час значних перевантажень можуть проковзуватися, що приводить до їх спрацювання. Кулькові обгінні муфти передають робочі навантаження зачепленням кульок з робочими поверхнями півмуфт і тому значні перевантаження не можуть викликати проковзування елементів приводів, але їх значні перевантаження здатні спричинити місцеві деформації робочих поверхонь півмуфт чи кульок. Одним із розв'язків окресленої проблеми може бути застосування кулькових обгінно-запобіжних муфт, спроможних автоматично роз'єднувати кінематичний ланцюг під час перевантажень. Проведені дослідження запропонованої муфти переконливо підтвердили те, що розроблені кулькові обгінно-запобіжні муфти можна ефективно застосовувати як пристрої для обмежування величини крутного моменту в механічних приводах машинобудування.

Ключові слова: муфти, обгінні муфти, кулькові запобіжні муфти, з'єднання приводів.

Вступ

Нині актуальним є розширення функцій кінематичних ланцюгів механічних приводів з кульковими спеціальними обгінними муфтами, які передають крутний момент тільки в одному напрямку та унеможливають запобігання від дії перевантажень, оскільки має місце постійне зачеплення в кінематичному ланцюгу, що передає потрібний крутний момент тільки в одному напрямку завдяки постійному зачепленню робочих кульок з робочими поверхнями пазів півмуфт. З огляду на окреслену необхідність розроблено та запатентовано кулькову обгінно-запобіжну муфту.

Нова муфта автоматично роз'єднує кінематичний ланцюг під час недопустимих перевантажень.

Аналіз публікацій

Основою розроблення нової кулькової обгінно-запобіжної муфти стали відомі кулькові обгінні муфти, створені та запатентовані раніше. Окремі з них підтвердили свою працездатність у механічних приводах. Декілька робочих конструкцій кулькових обгінних муфт ґрунтуються на принципах зачеплення однієї чи більше кульок, розташованих у

пазах різних конфігурацій та положень. Для більшого розуміння принципу функціонування цих пристроїв наведено простіші робочі конструкції окремих виробничих муфт.

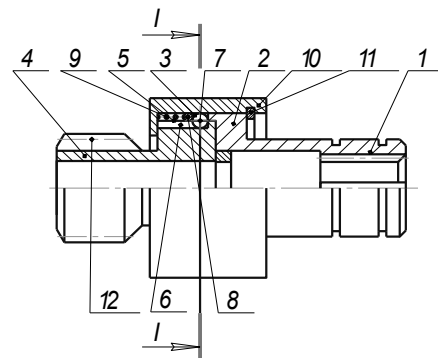


Рис. 1. Муфта стартерів

Конструкція, принцип роботи, експлуатаційні показники подібних муфт (рис. 1) більш повно описано в наукових працях [1–4].

Для значних робочих навантажень також створено та запатентовано конструкції кулькових обгінних муфт, що (окремі) зображені на рис. 2.

Основні кінематично-конструктивні експлуатаційні властивості муфт цього класу описано в роботах [5–7].

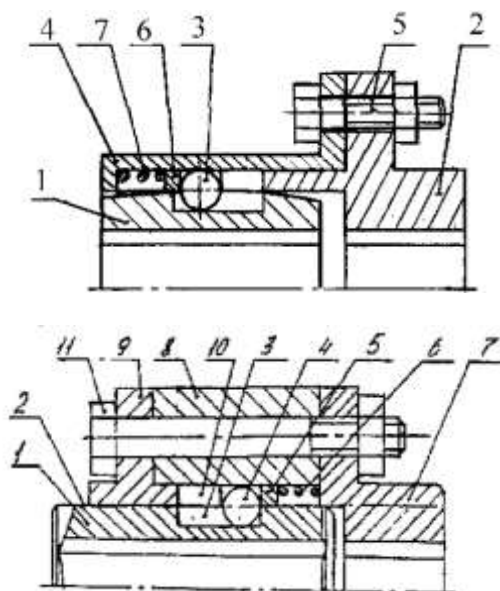


Рис. 2. Кулькові обгінні муфти високовантажних млинів

Крім того, відомі праці, присвячені виготовленню конструкцій, принципам роботи та розв'язанню інших технічних задач кулькових обгінних муфт, що їх можна знайти в студіях [8–11 тощо]. Для з'єднання вертикально розміщених кінців валів відомі також муфти, у яких виготовлені похилі пази для руху кульки, або на торці веденого вала нарізається три і більше пазів [12–15].

Мета й постановка завдання

Метою є розроблення нової кулькової обгінно-запобіжної муфти з автоматичним роз'єднанням кінематичного ланцюга під час збільшення до недопустимих значень робочого навантаження та його автоматичного з'єднання за робочих навантажень.

Для досягнення поставленої мети необхідно описати основні особливості відомих запатентованих муфт і подати розроблену конструкцію, принцип роботи нової кулькової обгінно-запобіжної муфти.

Виклад основного матеріалу

З огляду на потребу в розширенні функцій кулькових обгінних муфт, які не чинять опору перевантаженням кінематичних ланцюгів механічних приводів, що передають крутний момент тільки в одному напрямку не внаслідок тертя, а за допомогою зачеплення кульок із робочими поверхнями пазів півмуфт, було виготовлено й запатентовано нову кулькову обгінно-запобіжну муфту. Конструкція з основними розмірами цієї муфти зображена на рис. 3. Така муфта дає змогу суттєво пок-

радити показник ефективності функціонування механічних приводів унаслідок набуття важливої функції, а саме автоматичного роз'єднання кінців тягового й веденого валів тоді, коли робочий крутний момент ведучої півмуфти набуде значних небажаних для технологічного процесу значень.

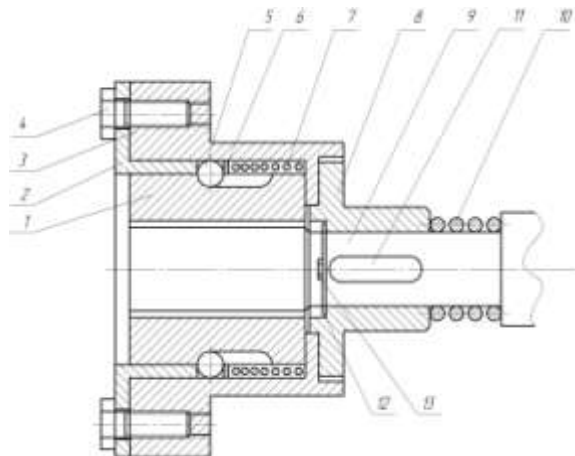


Рис. 3. Запатентована обгінно-запобіжна муфта

Нова кулькова обгінно-запобіжна муфта має ведучу півмуфту 1 із похилими пазами на зовнішній поверхні; більш складну ведену півмуфту 3, на торцях якої виготовлені врізані пази оберненого нахилу до пазів ведучої півмуфти. У пазах розташовано кульки 5, які під час вкочування в пази півмуфт зчіплюють їх, і муфта передає крутні моменти до робочого механізму. Для рівномірного зчеплення півмуфт муфта оснащена упорним кільцем 6, що підтискається до кульок пружиною 7, яку встановлено між півмуфтою 3 і обоймою 2. Півмуфта 3 спирається на втулку 8, установлену на кінці веденого вала 9, і пружиною 10 притискається до фрикційної поверхні веденої півмуфти 3. Втулка 8 з'єднана з кінцем вала 9 за допомогою двох шпонок 11, що уможлиблює її зміщення під час перевантажень і роз'єднання силового ланцюга системи.

Для повного розуміння рис. 4 наголосимо, що на початку увімкнення муфти її кульки мають положення D , A і B . Після того, як ведуча півмуфта миттєво набирає швидкість $V = \omega_1 R$, де R – відстань між центром обертання муфти й центром ваги кульки, обгінна муфта переходить до робочого стану C .

Під дією пружини, що була попередньо стиснутою, кульки вкочуються в пази ведучої півмуфти. Кульки до моменту входження в зачеплення із лівою півмуфтою за рівномірного їх руху проходять шлях $-\omega_1 R t$.

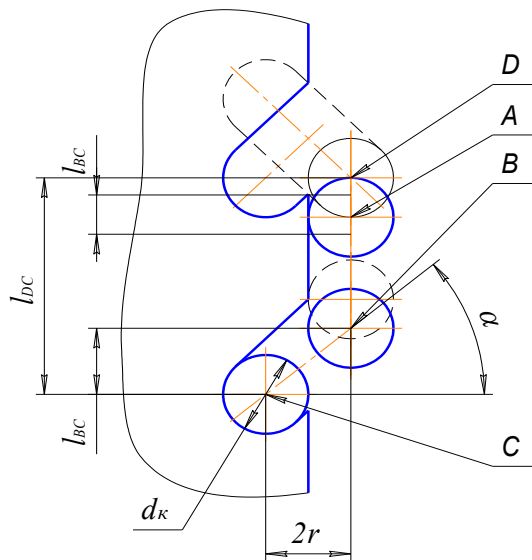


Рис. 4. Положення кульок на початку ввімкнення

Але очевидно, що початкове відносне положення кульок і пазів у момент вмикання двигуна може бути різним. Тим самим може бути два граничних відрізки часу вмикання муфти. Тобто час її вмикання може бути як максимальним, так і мінімальним. Граничні положення кульок щодо пазів цієї півмуфти зображено на рис. 4, де точки A, B, C і D – центри кульок; l_{AD} , l_{DC} , l_{BC} – величини відповідних відрізків, які має пройти кожна кулька муфти за однаковий час увімкнення. Якщо брати за основу синхронність руху кульок, завжди буде достатньо розглядати рух однієї з них.

Для визначення кінематичних параметрів необхідно визначити положення кульок із торця ведучої півмуфти (рис. 5). Це дає змогу розглянути кутові параметри процесу вмикання муфти.

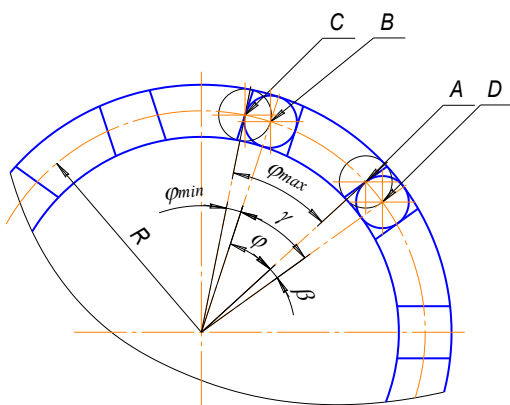


Рис. 5. Вигляд із торця ведучої півмуфти

На рис. 5 видно, що дугу l_{AC} кулька пройде до вмикання муфти в разі гіршого її

розташування щодо пазів півмуфти за час $t_{\max}$, а дуга l_{BC} – проекція мінімального шляху, що проходить кулька за час $t_{\min}$. Цим дугам відповідають кути $\varphi_{\max}$, $\varphi_{\min}$. Також видно, що дузі l_{DA} відповідає кут β , а дузі l_{DB} – кут γ .

Залежності між цими кутами такі:

$$\varphi_{\max} = \varphi_{\min} + \varphi;$$

$$\varphi = \gamma - \beta = \frac{2\pi}{z} - \beta;$$

$$\varphi = \frac{2\pi}{z} - \frac{r}{R},$$

де z – кількість кульок; R – радіус розташування центрів кульок у півмуфтах; r – радіус кульки. Беручи до уваги, що $R \gg r$, можемо припустити $l_{DA} \approx r$. Тоді

$$\beta = \frac{l_{DA}}{R} \approx \frac{r}{R}.$$

Різниця між максимальним і мінімальним часом, за який кулька з точки A перейде в точку B така:

$$t = t_{\max} - t_{\min} = \frac{\varphi}{\omega_1} = \frac{2\pi(z-r)R}{\omega_1} = \frac{2\pi R - rz}{\omega_1 R}.$$

Довжину дуги можна записати так:

$$l_{BC} = 2r \operatorname{tg} \alpha,$$

де α – кут нахилу пазів у півмуфтах. Мінімальний кут, який пройде кулька, та витрачений час:

$$\varphi_{\min} = \frac{l_{BC}}{R} \approx \frac{2r \operatorname{tg} \alpha}{R}; \quad t_{\min} = \frac{\varphi_{\min}}{\omega_1} = \frac{2r \operatorname{tg} \alpha}{\omega_1 R}.$$

Максимальний кут і час руху кульки щодо паза ведучої півмуфти такі:

$$\begin{aligned} \varphi_{\max} &= \frac{2r \operatorname{tg} \alpha}{R} + \frac{2\pi}{z} - \frac{r}{R} = \\ &= \frac{2zr \operatorname{tg} \alpha + 2\pi R - rz}{Rz} = \frac{2\pi R + rz(2 \operatorname{tg} \alpha - 1)}{Rz}; \end{aligned}$$

$$t_{\max} = \frac{\varphi_{\max}}{\omega_1} = \frac{2\pi R + rz(2 \operatorname{tg} \alpha - 1)}{\omega_1 Rz}.$$

Зрозуміло, що наведені геометричні параметри (R, r, z, α) впливають на зміну величини максимального й мінімального часу вмикання муфти, а її міцність залежить від навантажень окремих частин. Тому для обгінно-запобіжної муфти необхідно знати також максимально допустимий крутний момент, щоб за умови його збільшення до небажаних значень сила тертя між дисками запобіжної частини муфти стала меншою за рушійну силу. Регулювання правильного функціонування фрикційної пари здійснюється величиною сили затягування робочої пружини.

Висновки

Основні елементи обгінної частини запропонованої муфти подібні до відомих конструкцій. Особливістю розглянутої в статті муфти є те, що вона, крім обгінних властивостей, має також запобіжну частину й автоматично роз'єднує кінематичний ланцюг під час збільшення навантажень понад допустимі.

Нова муфта має основну властивість, що різнить її з відомими, – ведена півмуфта містить три елементи. Перший і другий елементи з'єднані гвинтами, а другий – кільцевим фрикційним контактом із третім елементом веденої півмуфти, який встановлений на веденому валу за допомогою шпонки та підтриманий робочою пружиною, зафіксованою шайбою та гвинтом до веденого вала. Робоча пружина дає змогу регулювати величини зусиль перевантажень у кінематичному ланцюгу.

Література

1. ДСТУ 2278–93. Муфти механічні. Терміни на визначення.
2. Гащук П. М., Малащенко В. В. Обґрунтування основних параметрів кулькових муфт вільного ходу. *Підйомно-транспортна техніка*. 2005. № 4. С. 34–39.
3. Гащук П. М., Малащенко В. В., Сахро Г. Г. Вплив геометричних параметрів на час вмикання кулькових обгінних муфт стартерів транспортних засобів. *Підйомно-транспортна техніка*. 2006. № 2 (18). С. 6–11.
4. Кравець І. Є., Малащенко В. В., Сороківський О. І. Силова взаємодія між елементами кулькових муфт вільного ходу. *Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні: Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2003. № 480. С. 73–76.
5. Малащенко В. О., Гащук П. М., Сороківський О. І., Малащенко В. В. Кулькові механізми вільного ходу: монографія. Львів: Новий Світ, 2000, 2012. 212 с.
6. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. 2-е видання. Львів: НУ ЛПІ, 2006. 196 с.; 2009. 216 с.

7. Малащенко В. О., Стрілець В. Н., Стрілець О. Р., Федорук В. А. Нові муфти механічних приводів машин. Рівне: НУВГП, 2019. 190 с.
8. Malascenko V., Sorokivskij O. The selection of Parameters of a Coaster Ball Clutch and Recommendation for its Konstruktion. *Transaktions of the Universities of Kosice*. 2002. № 2. С. 16.
9. Малащенко В. О., Сороківський О. І. Навантаження напівмуфт кулькової муфти вільного ходу зосередженою осьюовою силою. *Машинознавство*. 2002. № 5. С. 46–48.
10. Малащенко В. О., Кравець І. Є., Сороківський О. І. Силова взаємодія між елементами кулькових муфт вільного ходу. *Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2003. № 480. С. 73–76.
11. Обгінна муфта. Патент України № 56483 А. Бюл. № 5, 2003 / В. О. Малащенко, Г. П. Куновський, І. Є. Кравець, О. І. Сороківський.
12. Protsenko V., Malashchenko V., Klysz S., Nastasenکو V., Babiу M. V., Avramenko, O. Load capacity and design parameters of ball-type safety-overrunning clutch with inclined grooves sides. *Diagnostyka*, 2022, 23, 2022403. <https://doi.org/10.29354/diag/155837>.
13. Пружні муфти: навчальний посібник / В. О. Проценко, В. О. Малащенко. 2024. 230 с. Свідомство про внесення в державний реєстр. Серія ДК 19425 від 15.09.2004 р.
14. Protsenko V., Malashchenko V., Klysz S., Avramenko O. Safety-overrunningclutch elastic torque operation characteristic study. *Diagnostyka*. 2023. 24 (4):1–7. DOI:10.29354/diag/175721 (Scopus).
15. Protsenko V., Malashchenko V., Nastasenکو V., Babiу M., Voitovych O. Elevator drum-pad brake mechanisms: redundant constraints and reliability rise opportunity. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2024, 125, 229–242. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.125.15>.

References

1. DSTU 2278–93. Mechanical couplings. Definition terms.
2. Gashchuk P. M., Malashchenko V. V. Justification of the main parameters of freewheeling ball couplings. *Lifting and transport equipment*. 2005. No. 4. P. 34–39.
3. Gashchuk P. M., Malashchenko V. V., Sakhro G. G. Influence of geometric parameters on the time of switching on of ball overrunning clutches of vehicle starters. *Lifting and transport equipment*. 2006. No. 2 (18). P. 6–11.
4. Kravets I. E., Malashchenko V. V., Sorokivskiy O. I. Force interaction between elements of freewheel ball couplings. *Optimization of production processes and technical control in mechanical engineering and instrument making: Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*. 2003, No. 480. P. 73–76.
5. Malashchenko V. O., Gashchuk P. M., Sorokivskiy O. I., Malashchenko V. V. Monograph. Free-wheel ball mechanisms. Lviv: Novy Svit, 2000, 2012. 212 p.

6. Malashchenko V. O. Drive couplings. Designs and calculation examples. 2nd edition. Lviv: National University of Lviv, 2006. 196 p.; 2009. 216 p.
7. Malashchenko V. O., Strilets V. N., Strilets O. R., Fedoruk V. A. New couplings for mechanical drives of machines. Rivne. NUVGP, 2019. 190 p.
8. Malashchenko V., Sorokivskij O. The selection of Parameters of a Coaster Ball Clutch and Recommendation for its Konstruktion. *Transaktions of the Universities of Kosice*. 2002. № 2. C. 16.
9. Malashchenko V. O., Sorokivskiy O. I. Loading of half-couplings of a freewheeling ball coupling by concentrated axial force. *Mechanical Engineering*. 2002. No. 5. P. 46–48.
10. Malashchenko V. O., Kravets I. E., Sorokivskiy O. I. Force interaction between elements of freewheeling ball couplings. *Bulletin of the National University of Lviv Polytechnics*. 2003. No. 480. P. 73–76.
11. Overrunning clutch. Patent of Ukraine. No. 56483 A. Bull. No. 5, 2003 / V. O. Malashchenko, G. P. Kunovskiy, I. E. Kravets, O. I. Sorokivskiy.
12. Protsenko V., Malashchenko V., Klysz S., Nastasenko V., Babiy M. V., Avramenko O. Load capacity and design parameters of ball-type safety-overrunning clutch with inclined grooves sides. *Diagnostyka*, 2022, 23, 2022403. <https://doi.org/10.29354/diag/155837>.
13. Elastic couplings: textbook / V. O. Protsenko, V. O. Malashchenko. 2024. 230 p. Certificate of entry in the state register. Series DK 19425 dated 09/15/2004.
14. Protsenko V., Malashchenko V., Klysz S., Avramenko O. Safety-overrunningclutch elastic torque operation characteristic study. *Diagnostyka*. 2023, 24 (4):1–7. DOI:10.29354/diag/175721 (Scopus).
15. Protsenko V., Malashchenko V., Nastasenko V., Babiy M., Voitovych O. Elevator drum-pad brake mechanisms: redundant constraints and reliability rise opportunity. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2024, 125, 229–242. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.125.15>.

Кириченко Ігор Георгійович¹, д. т. н., проф.
кафедри будівельних і дорожніх машин
ім. А. М. Холодова, kyrig@ukr.net,
тел. +380677055474;

Малашенко Володимир Олександрович²,
д. т. н., проф. кафедри ТМІГ,
volod.malash@gmail.com, тел. +380678604504;

Проценко Владислав Олександрович³, д. т. н.,
проф. кафедри транспортних систем і технічного
сервісу, eseu@ukr.net, тел. +380504947472;

Сологуб Богдан Володимирович², к. т. н., доц.
кафедри ТМІГ, Національного університету,
bohdan.solohub@gmail.com, тел. +380973251211.

¹Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків,
вул. Ярослава Мудрого, 25

²Національний університет «Львівська політехніка»
79000, Україна, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12

³Херсонський національний технічний університет,
73000, Україна, м. Херсон, Бериславське шосе, 24

Improved Performance of Drives with Ball Overrunning Clutches

Abstract. Problem. The article presents the structural and power features of a ball overrunning clutch, which can be effectively used in kinematic-power drives that transmit loads in only one direction and prevent overloads of the working parts of mechanical machines. It is known that roller overrunning clutches transmit loads due to the friction of jammed rollers between the surfaces of the driving and driven half-couplings and during significant overloads can slip, which leads to their operation. **Goal.** Ball overrunning clutches transmit working loads by engaging the balls with the working surfaces of the half-couplings and therefore significant overloads cannot cause slipping of the drive elements, but their significant overloads can cause local deformations of the working surfaces of the half-couplings or balls. One of the solutions to this problem may be the use of ball overrunning clutches, which are capable of automatically disconnecting the kinematic chain during overloads. The conducted studies of the proposed coupling convincingly confirmed that the developed ball overrunning and safety couplings can be effectively used as devices for limiting the magnitude of the torque in mechanical drives of machine building. **Conclusions.** The main elements of the overrunning part of the proposed coupling are similar to known designs. The main feature of the proposed coupling is that, in addition to the overrunning properties, it also has a safety part and automatically disconnects the kinematic chain when the loads increase above the permissible ones. A characteristic feature of the new coupling is that the driven half-coupling consists of three elements, the first and second elements are connected by screws, and the second is connected by annular frictional contact with the third element of the driven half-coupling, which is installed on the drive shaft using a key and supported by a working spring, which is fixed by magnitude of the overload forces in the kinematic chain.

Keywords: couplings, overrunning clutches, ball safety clutches, drive connections.

Kyrychenko Ihor¹, Professor, Doct. of Science.
Building and Road Machines Department, ky-
rig@ukr.net;

Malashchenko Volodymyr², Professor, Doct. of
Science, Transport Systems and Technical Service
Department, volod.malash@gmail.com;

Protsenko Vladyslav³, Professor, Doct. Science,
Transport Systems and Technical Service Depart-
ment, eseu@ukr.net;

Sologub Bohdan², Associate Professor, Doct. of
Science, Transport Systems and Technical Depart-
ment, bohdan.solohub@gmail.com.

¹Kharkov National Automobile and Highway University,
25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine

²National University "Lviv Polytechnic",
st. S. Bandera 32, Lviv; 6th building, room 110

³Kherson National Technical University, 24,
Beryslavske highway, Kherson, 73008, Ukraine

