

УДК 625.089.26

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ФРЕЗИ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

ХОЖИЛО М. Е.¹, *к.т.н.*ШЕВЧЕНКО Є.С.^{2*}, студент.

¹ Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (066) 898-10-01, e-mail: ukrmakss@ua.fm, ORCID ID: 0000-0003-1841-4490.

^{2*} Механічний факультет, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна.

Анотація. У наш час суттєво зросли навантаження на автомобільні дороги (приблизно в сотні разів), що призвело до руйнування покриттів автомобільних доріг. До основних видів руйнувань відносяться: колія і хвилі, зсув і напливи, вищерблення і лушення, а також вибоїни і тріщини. Виникає потреба розширити обсяги реконструкції дорожніх покриттів, яку неможливо забезпечити за допомогою застарілого обладнання. Існує велика кількість методів регенерації та повторного використання матеріалів, які можуть бути застосовані при реконструкції автомобільних доріг, але недостатня оснашеність підрядних організацій відповідною дорожньо-будівельною технікою є проблемою для утримання автомобільних доріг на Україні. В статті запропонована конструкція робочого органу фрезерного типу, яка у поєднанні з базовою машиною, наприклад, пневмоколесним трактором, дозволяє виконувати руйнування дорожнього покриття, а також проведений розрахунок робочого органу за допомогою програмного комплексу САПР SolidWorks.

Ключові слова: дорожня фреза; метод кінцевих елементів; робоче обладнання; напружено-деформований стан; робочий орган фрезерного типу.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ФРЕЗЫ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ХОЖИЛО М. Э.¹, *к.т.н.*ШЕВЧЕНКО Е.С.^{2*}, студент.

¹ Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (066) 898-10-01, e-mail: ukrmakss@ua.fm, ORCID ID: 0000-0003-1841-4490.

^{2*} Механический факультет, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина.

Аннотация. В наше время существенно возросли нагрузки на автомобильные дороги (примерно в сотни раз), что привело к разрушению покрытий автомобильных дорог. К основным видам разрушений относятся: колея и волны, смещение и наплывы, выкрашивание и шелушение, а также выбоины и трещины. Возникает потребность расширить объемы реконструкции дорожных покрытий, которую невозможно обеспечить с помощью устаревшего оборудования. Существует большое количество методов регенерации и повторного использования материалов, которые могут быть применены при реконструкции автомобильных дорог, но недостаточная оснащенность подрядных организаций соответствующей дорожно-строительной техникой является проблемой для содержания автомобильных дорог на Украине. В статье предложена конструкция рабочего органа фрезерного типа, которая в сочетании с базовой машиной, например, пневмоколесным трактором, позволяет выполнять разрушение дорожного покрытия, а также произведен расчет рабочего органа с помощью программного комплекса САПР SolidWorks.

Ключевые слова: дорожная фреза; метод конечных элементов; рабочее оборудование; напряженно-деформированное состояние; рабочий орган фрезерного типа.

DETERMINATION OF STRESS-STRAIN STATE CUTTER FINITE ELEMENT TECHNIQUE

KHOZHNYLO M. E.¹, *Ph. D.*,SHEVCHENKO E. S.^{2*}, *student*

¹ Department building and road machines, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (066) 898-10-01, e-mail: ukrmakss@ua.fm, ORCID ID: 0000-0003-1841-4490.

^{2*} Faculty of Mechanical Engineering, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine.

Abstract. In our time, significantly increased the load on the roads that led to the destruction of road surfaces. The main types of damage include: track and wave, displacement and influxes, chipping and peeling, as well as potholes and cracks. There is a need to expand the volume of reconstruction of road surfaces, which can not be achieved using obsolete equipment. There are many methods of regeneration and reuse of materials that can be used in the reconstruction of roads, but a lack of appropriate equipment contractors road construction equipment is a problem for the maintenance of roads in Ukraine. The paper proposes a working body of the milling type design, which in combination with the base machine, for example, rubber-tired tractor, allows for the destruction of the road surface and produced a working body calculation using SolidWorks CAD software.

Key words: road milling machine; finite element method; working equipment; stress-strain state; working body of the milling type.

Постановка проблеми. В останні кілька років технології дорожнього будівництва багато в чому змінилися [1, 2, 3, 4, 5, 6].

У наш час суттєво зросли навантаження на автомобільні дороги (приблизно в сотні разів), що призвело до руйнування покриттів автомобільних доріг.

До основних видів руйнувань відносяться: колія і хвиля, зсув і напливи, вищерблення і лущення, а також вибоїни і тріщини.

Виникає потреба розширити обсяги реконструкції дорожніх покриттів, яку неможливо забезпечити за допомогою застарілого обладнання (зношеність обладнання на 80-90%) [5].

Аналіз публікацій. Існує велика кількість методів регенерації та повторного використання матеріалів, які можуть бути застосовані при реконструкції автомобільних доріг, але недостатня оснащеність підрядних організацій відповідною дорожньо-будівельною технікою є проблемою для утримання автомобільних доріг на Україні [1, 2, 6].

Аналіз джерел дозволив встановити, що на сьогоднішній день реконструкцію дорожніх покриттів можна виконувати за допомогою ресайклерів закордонних виробників, таких як: Wirtgen, Caterpillar, Volvo, TRXBuild, Bomag, North Traffic тощо, але вартість таких машин, на жаль, не дозволяє застосовувати їх для ремонту доріг на території України. В свою чергу існують загальні недоліки для перелічених машин: 1) старий матеріал основи асфальтобетонного покриття та новий, який додається, не піддається ситовому аналізу, тобто не класифікується по розміру і тому не вкладається в ремонтну

ділянку полотна дороги по необхідному складу та шарам. Це знижує якість покриття та зменшує строк служби дороги, підвищує вартість утримання доріг; б) фрезерному барабану потрібен складний затискний механізм з тягою і виконавчим циліндром; 3) відсутність захисних елементів, які не дозволяють подрібненому асфальтобетонному покриттю розлітатися за межі робочого органу.

Мета статті. Запропонувати конструкцію робочого органу фрезерного типу, яка у поєднанні з базовою машиною, наприклад, пневмоколісним трактором, дозволить виконувати руйнування дорожнього покриття, а також провести розрахунки робочого органу за допомогою програмного комплексу САПР SolidWorks.

Виклад матеріалу. Запропонована конструкція машини складається з базового трактора 1, плаваючого кожуха 2 дорожньої фрези 3, балки 4, яка з'єднана через тягу 5 з базовим трактором 1. Підйом і опускання фрезерного робочого обладнання відбувається за рахунок гідроциліндрів керування 6 і 7 (рис. 1).

Фреза 3, показана в робочому положенні, закритий «плаваючий» кожух 2, який спирається лижами 8 на сплановану поверхню ґрунту. На боковій стінці «плаваючого» кожуха 2 встановлений золотник 9 зі штоком 10, який контактує з основною частиною 11 складеного важеля, та шарнірно прикріплена в точці А до «плаваючого» кожуху. Кінцева частина 12 складеного важеля може пересуватися по вертикальній стійці 13 основної частини 11 складеного важеля і фіксуватися на ній. Кінцева частина 12 складеного важеля контактує з опорою 14 фрези 3.

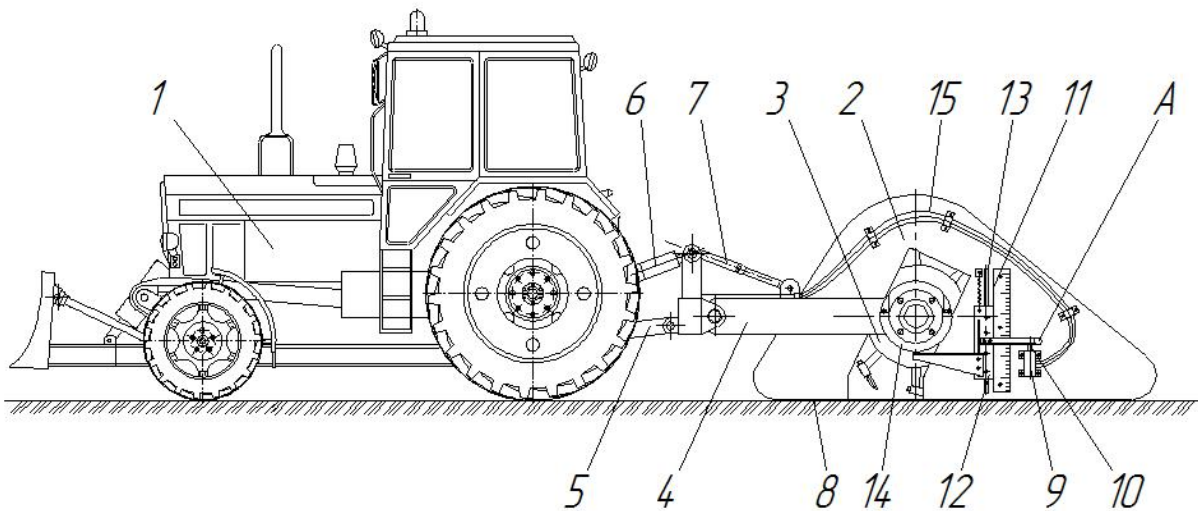


Рис. 1. Загальний вигляд машини для руйнування дорожніх покриттів: 1 – базовий трактор; 2 - плаваючий кожух; 3 – дорожня фреза; 4 – балки; 5 – тяги; 6, 7 – гідроциліндри керування; 8 – лїжа; 9 - золотник; 10 – шток; 11, 12 – відповідно основна та кінцева частина важеля; 13 – стійка вертикальна; 14 – опора; 15 – трубопровід.

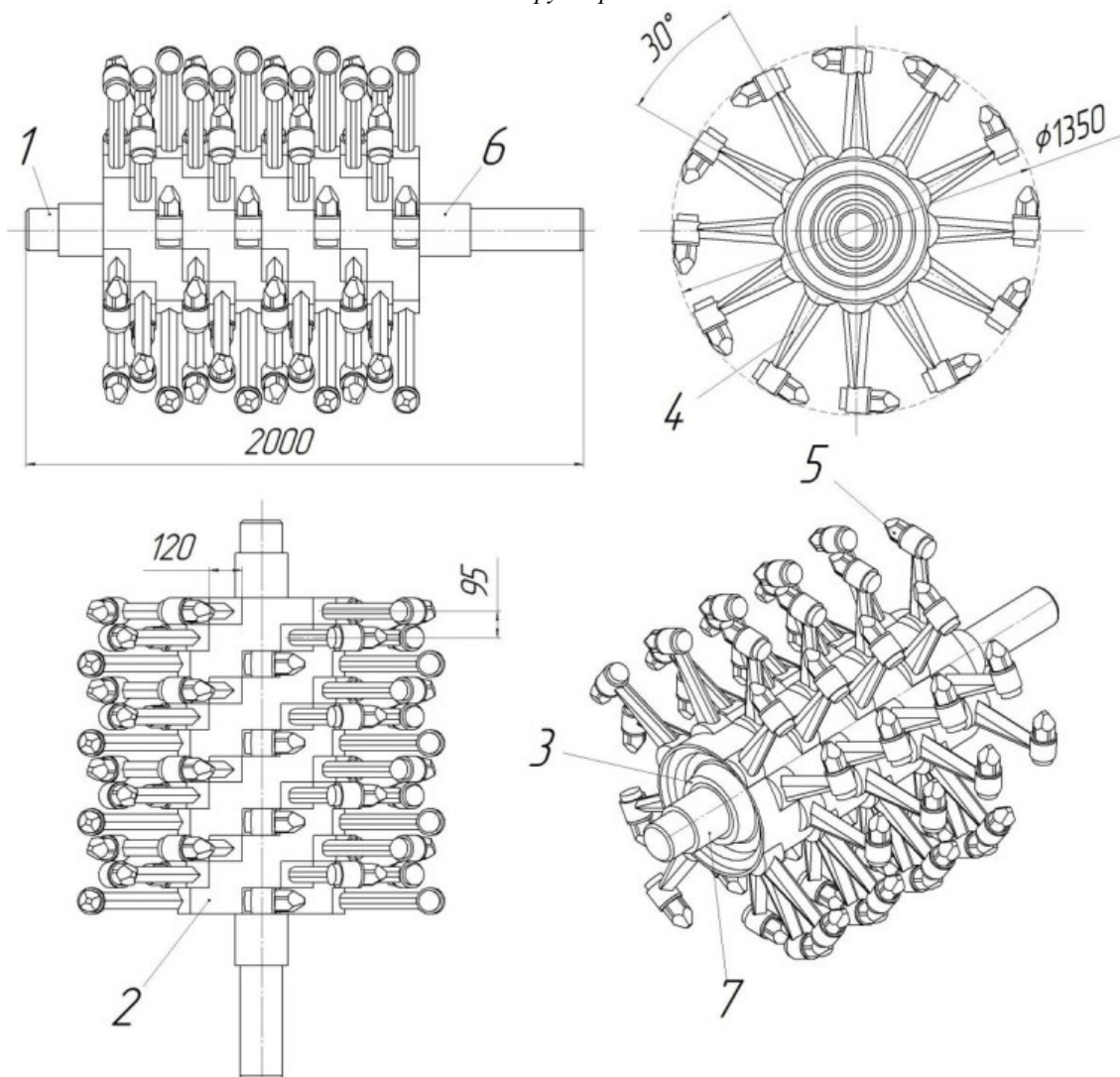


Рис. 2. Загальний вигляд робочого органу машини для руйнування дорожніх покриттів: 1 – вал; 2 – барабан; 3 – вкладки; 4 – стійка; 5 – різальний зуб, 6, 7 - втулка.

Робота пристрою здійснюється наступним чином. Коли фреза 3 знаходиться в неробочому положенні, тобто піднята над ґрунтом, встановлюють кінцеву частину 12 складеного важеля за задалегідь тарованою шкалою вертикальної стійки 13 основної частини 11 складеного важеля в положення, відповідне заданій глибині обробки асфальтобетону, і закріплюють її, наприклад, стопорними болтами.

Кінцева частина 12 складеного важеля не контактує з опорою 14 ротора 3. На підпружинений шток 10 діє тільки вага частин 11 і 12 складеного важеля. Фреза починає опускатися, врізається в асфальтобетонне покриття, а кожух лижами 8 стане на сплановану поверхню. Фреза опускається до тих пір, поки опора 14 не ввійде в контакт з кінцевою частиною 12 складеного важеля, а основна частина 11 складеного важеля не натисне на підпружинений шток 10 золотника 9.

При роботі дорожньої фрези, коли, наприклад, задня частина базового трактора 1 опиниться на узвишші, опора 14 фрези 3 відійде вгору від кінцевій частині 12 складеного важеля, повернення фрези 3 в задане положення станеться, як описано вище.

Якщо задня частина рушія тягача виявиться в западині, то опора 14 фрези 3 через кінцеву частину 12 складеного важеля основною частиною 11 складеного важеля опустить підпружинений шток 10 в положення, що забезпечує рух робочої рідини по трубопроводу 15.

Починається підйом фрези 3, який продовжується до тих пір, поки підпружинений шток 10 не стане в положення «нейтрально», тим самим перекриє обидві порожнини силового циліндра 7. Підйом фрези 3 припиниться, а глибина оброблюваного шару асфальтобетону буде відповідати заданій.

Сама фреза складається з валу 1, який встановлений всередині барабана 2 за допомогою вкладишів 3 та втулок 6 і 7. На зовнішній поверхні барабана 2 встановлені стійки 4 з різальними зубами 5.

Знаючи конструкцію дорожньої фрези, необхідно провести розрахунки з метою доказу її працездатності.

Розрахунок фрези будемо виконувати за допомогою програмного комплексу САПР для автоматизації робіт на етапі підготовки конструкторської та технологічної документації SolidWorks.

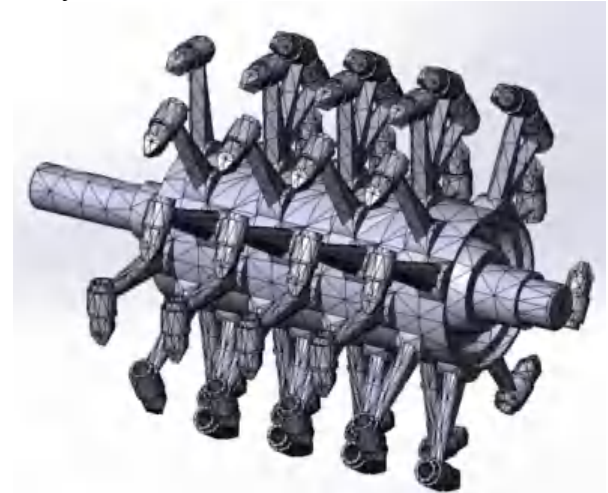


Рис. 3. Загальний вигляд робочого органа для руйнування дорожніх покриттів.

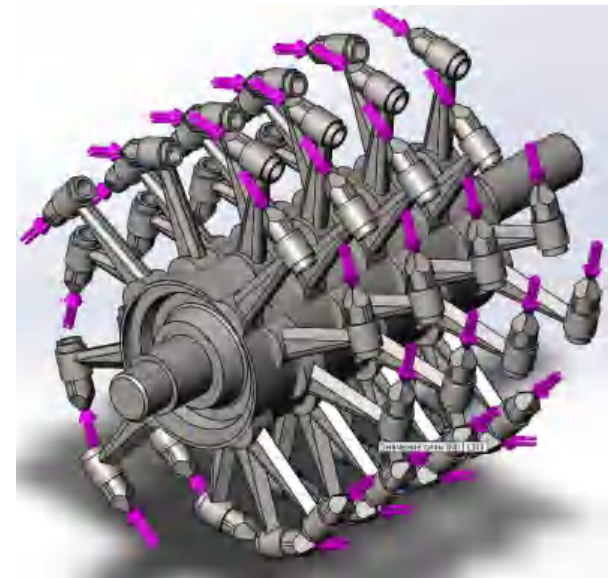


Рис. 4. Прикладання до різальних зубів робочого органа для руйнування дорожніх покриттів сили опору різання.

На першому етапі були побудовані окремі елементи: вал 1, барабан 2, вкладиш 3; стійка 4; різальний зуб 5, втулка 6 і 7. Після чого побудовані елементу зібрано в одну єдину конструкцію з накладанням зв'язків та обмежень.

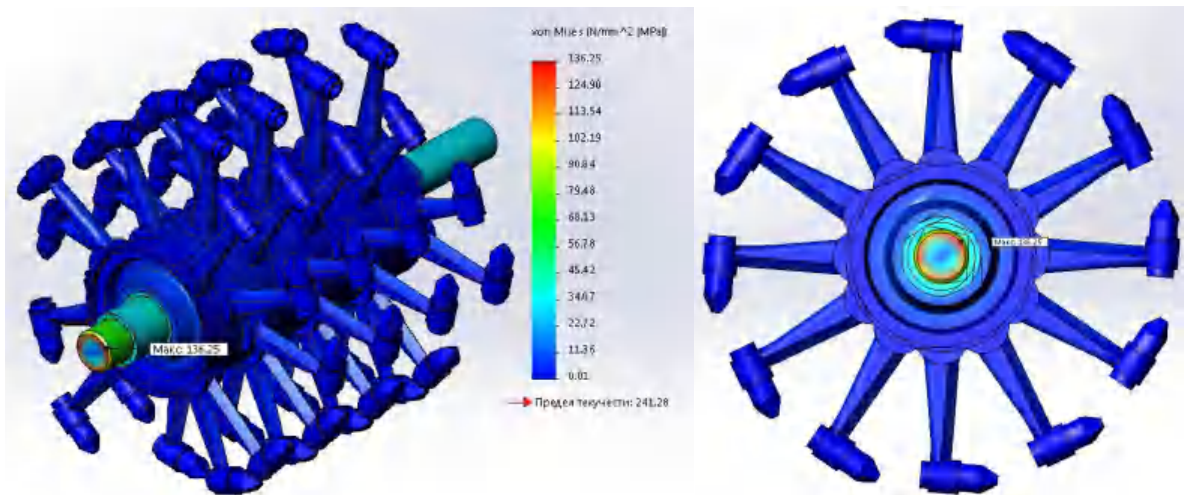


Рис. 5. Елюра напружень по Мізесу.

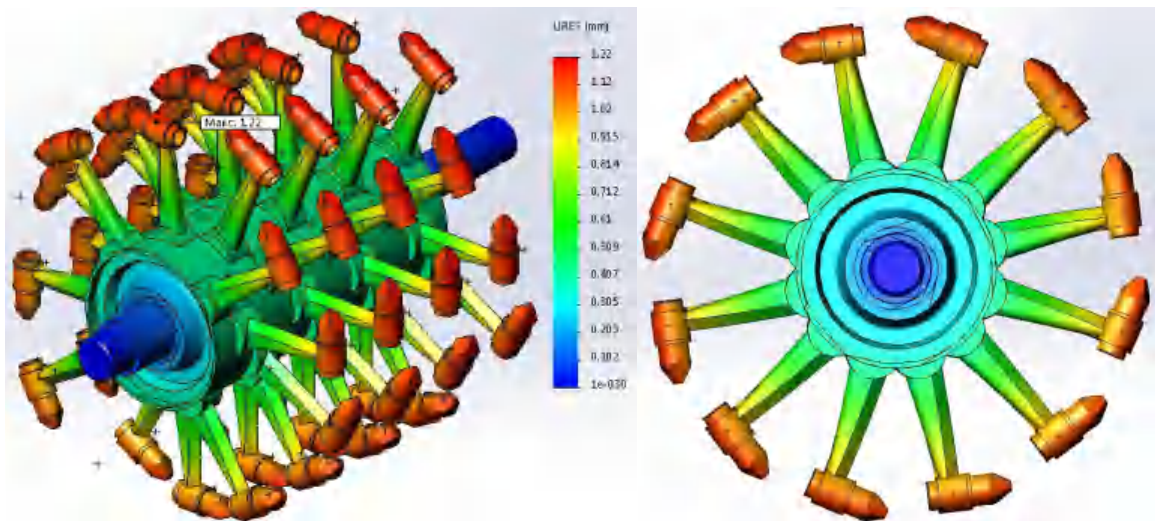


Рис. 6. Елюра переміщення.

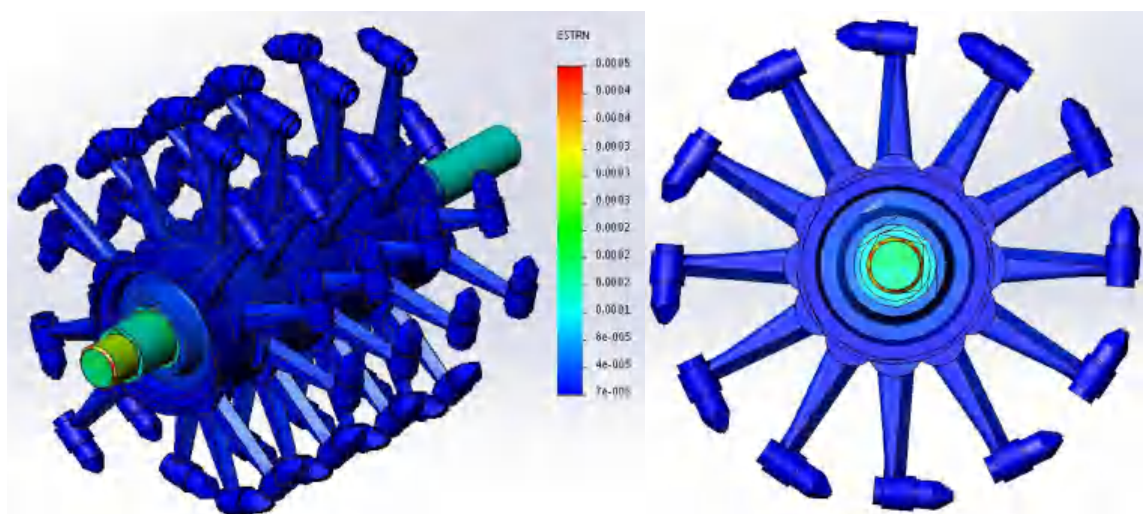


Рис. 7. Елюра еквівалентної деформації.

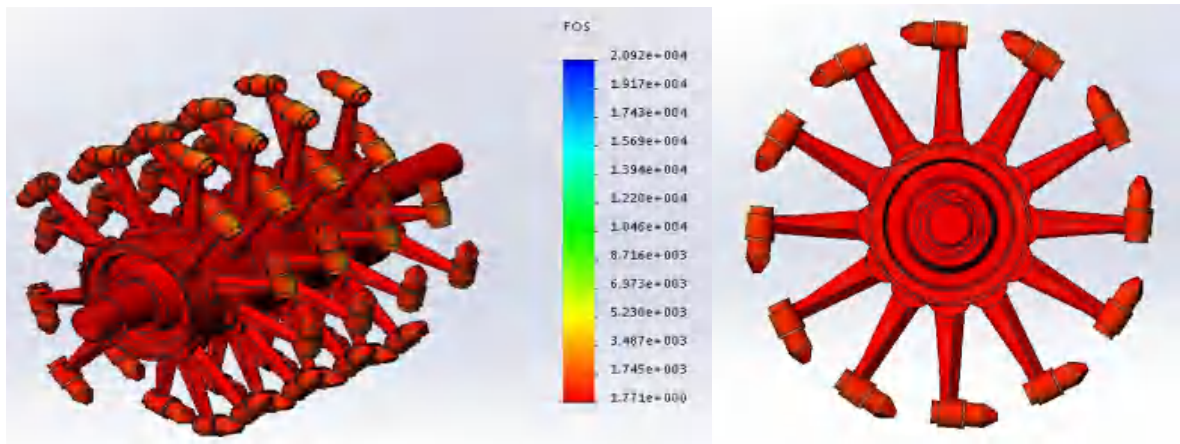


Рис. 8. Епюра запасу міцності.

На наступному етапі досліджень були прийняті матеріали для: валів, барабану, та вкладишів, втулок та стійок – звичайна вуглецева сталь У10 з межею плинності $\sigma_T=220$ МПа, а для різальних зубів – інструментальна легована сталь 35ХМ з межею плинності $\sigma_T=241$ МПа.

Таблиця 1.

Таблиця вагових характеристик робочого органу

Маса, кг	1577	
Об'єм, м ³	0,2	
Центр маси, м	X = 1.21 Y = -0.35 Z = 0.58	
Головні вісі інерції та головні моменти інерції, кгм ²		
I _x = (0.00, 0.00, 1.00)	P _x = 276.58	
I _y = (0.00, -1.00, 0.00)	P _y = 432.26	
I _z = (1.00, 0.00, 0.00)	P _z = 432.26	
Моменти інерції, які визначаються у центрі ваги та вирівнюються відносно системи координат, кгм ²		
L _{xx} = 432.26	L _{xy} = 0.00	L _{zy} = 0.00
L _{yx} = 0.00	L _{xz} = 0.00	L _{yz} = 0.00
L _{zx} = 0.00	L _{yy} = 432.26	L _{zz} = 276.58
Моменти інерції, які вираховуються відносно системи координат, кгм ²		
I _{xx} = 1165.18	I _{xy} = -672.99	I _{xz} = 1114.18
I _{yx} = -672.99	I _{yy} = 3281.02	I _{yz} = -324.36
I _{zx} = 1114.18	I _{zy} = -324.36	I _{zz} = 2784.26

Перед розрахунком робочого органу методом кінцевих елементів (рис. 3), було зафіксовано вал з обох сторін, а до різальних зубів 5, які мають площинку затуплення прикладена сила опору різання розміром P=1300 Н на кожен зуб (рис. 4).

Після розрахунку тривимірної моделі були визначені вагові характеристики робочого органу (табл.1) та отримані

епюри напружень (рис. 5), переміщень (рис. 6), деформації (рис. 7) та запасу міцності (рис. 8).

Згідно отриманих діаграм та аналізу розрахунку напружено-деформованого стану фрезерного робочого органу впливає, що при заданому рівні навантажень та прийнятих геометричних параметрах, не дивлячись на присутність місцевих зон плинності, фрезерний робочий орган повністю зберіг свою працездатність з точки зору статичної міцності. Це підтверджують епюри на рисунках 5-8, які дають повну уяву про те, що:

1. Найбільші напруження по Мізесу виникають на валах, в місцях фіксації валу робочого органу, та дорівнюють 136,25 МПа, що на 43% менше ніж значення межі плинності 241,28 МПа.

2. Найбільша деформація переміщення під дією сили різання, яка дорівнює по умові P=1310 Н, видно, що при найнесприятливіших умовах найбільше переміщення різальних зубів буде дорівнювати s=1,22 мм., що є допустимим і не призводить до руйнування конструкції в цілому.

3. При аналізі діаграм еквівалентних деформацій з декількома циклами навантажень можна зробити висновок, що в процесі роботи фрези деформації стають більш однорідними, а їх максимум знижується. Це пояснюється тим, що після зняття навантажень, в матеріалі присутня початкова деформація зі знаком

протилежним знаку деформації, який присутній після прикладання сили різання.

4. Мінімальний коефіцієнт запасу міцності дорівнює 1,8, що підтверджує здатність фрези витримати задані навантаження.

Зазначені результати мають позитивний характер та свідчать про вдалий вибір матеріалу, а також геометричних параметрів фрезерного робочого органа.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дорожні машини: Машини для будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг: Навч. посіб. Част. II. / Л.А. Хмара, О.С. Шипілов, В. Д. Мусійко, М.П. Кузьмінець, В.І. Пантелєєнко, С.О. Карпушин. – К., Д.: НТУ, 2013. – 400 с.
2. Технология устройства и ремонта асфальтобетонных покрытий: Учебн. пос. / И.С. Ищенко, Т. Н. Калашникова, Д. А. Семенов - М.: Аир-Арт, 2001. - 176 с.
3. Машини для земляних робіт : навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Ничке та ін./ – [Під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця]. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків, 2010. – 557 с.
4. Машини для земляних робіт : підручник / [Л. А. Хмара, С. В. Кравець, М. П. Скоблюк та ін.]. – Під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2014. – 549 с.
5. Машини для содержания городских и автомобильных дорог: Кн. 1. Содержание дорог в летний период: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов, А.Г. Савельев, под общ. Ред. В.И. Баловнева – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: ТЕХПОЛИГРАФЦЕНТР, 2013. – 333 с.
6. Автомобільні дороги: будівництво, ремонт, машини і механізми для виконання робіт: навч.посіб. Ч.1 / Л.А.Хмара, О.С.Шипілов, В.Д.Мусійко, М.П. Кузьмінець. – К. ; Д.: НТУ, 2011. – 416 с.

REFERENCES

1. Dorozhni mashyny: *Mashyny dlia budivnytstva, remontu ta utrymannia avtomobilnykh dorih: Navch. posib. Chast. II.* [Road machinery: Machinery for construction, repair and maintenance of roads. Part 2] / L.A. Khmara, O.S. Shypilov, V. D. Musiiko, M.P. Kuzminets, V.I. Panteleienko, S.O. Karpushyn. – K., D.: NTU, 2013. – 400 s. (in Ukrainian).
2. *Tekhnolohiya ustroistva i remonta asfaltobetonnykh pokrytyi: Uchebn. pos.* [Device Technology and repair of asphalt concrete coatings:] / Y.S. Yshchenko, T. N. Kalashnykova, D. A. Semenov - M.: Ayr-Art, 2001. - 176 s. (in Russian).
3. *Mashyny dlia zemlianykh robit : navch. posib.* [Machines for earthworks] / L. A. Khmara, S. V. Kravets, V. V. Nychke ta in./ – [Pid zah. red. prof. L. A. Khmary ta prof. S. V. Kravtsia]. – Rivne – Dnipropetrovsk – Kharkiv, 2010. – 557 s. (in Ukrainian).
4. *Mashyny dlia zemlianykh robit : pidruchnyk* [Machines for earthworks] / [L. A. Khmara, S. V. Kravets, M. P. Skobliuk ta in.]. – Pid zah. red. prof. L. A. Khmary ta prof. S. V. Kravtsia. – Rivne – Dnipropetrovsk – Kharkiv. – 2014. – 549 s. (in Ukrainian).
5. *Mashyny dlia sodержaniya horodskykh y avtomobylnykh doroh: Kn. 1. Soderzhanye doroh v letnyi peryod: uchebnoe posobyie dlia vuzov* [Machines for maintenance of urban and highways: Bk. 1. Road maintenance in summer] / V.Y. Balovnev, R.H. Danylov, A.H. savelev, pod obshch. Red. V.Y. Balovneva – 3-e yzd., dop. y pererab. – M.: TEKH POLYHRAFTSENTR, 2013. – 333 s. (in Russian).
6. *Avtomobilni dorohy: budivnytstvo, remont, mashyny i mekhanizmy dlia vykonannia robit: navch.posib. Ch.1* [Highways: construction, repair, machines and mechanisms for performance. Part 1] / L.A.Khmara, O.S.Shypilov, V.D.Musiiko, M.P. Kuzminets. – K. ; D.: NTU, 2011. – 416 s. (in Ukrainian).