

ДОСЛІДЖЕННЯ АСИМЕТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА МІЦНОСТІ РАМНОЇ КОНСТРУКЦІЇ МЕТОДАМИ СХЕМАТИЗОВАНИХ ДІАГРАМ (НА ПРИКЛАДІ РАМИ СІВАЛКИ ASTRA 4 PREMIUM)

Калінін Є., д-р техн. наук, доц.,
e-mail: kalininhtusg@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-6191-8446>,
Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка;
Мясушка М.,
e-mail: [hfukrndipvt@gmail.com](mailto:hfuksndipvt@gmail.com),
<https://orcid.org/0000-0003-2178-1144>
Харківська філія ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Мета дослідження – розроблення удосконаленого методу визначення асиметричної навантаженості та міцності рамної конструкції з використанням методів схематизованих діаграм, що допоможе суттєво знизити витрати праці під час розрахунків та автоматизувати останні.

Методи дослідження. У роботі використані методи теорії пружного тіла, яке не деформується та обчислювального експерименту, а також елементи теорії накопичення втомних руйнувань.

Результати дослідження. Під час дослідження втомної міцності рами універсальної зернотукової сівалки ASTRA 4 Premium необхідно було визначити втомні характеристики для можливо більшого числа її ділянок на одному екземплярі випробуваної конструкції. Тому був застосований метод ступеневого підвищення напружень. Експериментальне дослідження навантаженості рами було виконано методом тензометрування як в експлуатаційних, так і в транспортних умовах.

Дослідження проводилися на трьох режимах: імітація сівби; повороти і переїзди на поле з піднятими сошниками; транспортування дорогою поганої якості. Статистична обробка тензограм проводилася систематизацією за розмахом з одночасним приведенням циклів експлуатаційних напружень з різною асиметрією до симетричного циклу. Пропонований спосіб приведення заснований на застосуванні схематизованої діаграми втомної міцності в координатах «середнє і амплітудне напруження». Гранична крива передбачається заміненою на пряму, яка проходить через границю втоми ділянки рами, у симетричному циклі через границю міцності.

За кожною поточною парою максимальних і мінімальних значень напружень, які однозначно визначають собою середнє й амплітудне значення напівциклу, підраховується поточне значення коефіцієнта чутливості ділянки рами до асиметрії циклу. Потім обчислюється приведена до симетричного циклу амплітуда напівциклу. Так виходить дискретний розподіл амплітуд, приведених до симетричного циклу.

Висновки. Через незначні розбіжності в границях втоми, підрахованих за запропонованим методом і за методом Локаті, пропонується використовувати перший метод, як менш трудомісткий і як такий, який можна автоматизувати з використанням ПК.

Ключові слова: асиметричне навантаження, втомне руйнування, крива Веллера, метод Локаті, границя втоми, рама сівалки

Постановка проблеми. Рама як енергетичного засобу, так і сільськогосподарських машин являє собою складну просторову конструкцію. Водночас рама – підсистема ще більш складної динамічної системи, а саме сільськогосподарської машини, яка працює в умовах доріг і полів з випадковими мікропрофілями. Тому напружений стан рами залежить не тільки від її конструкції і взаємодії з іншими елементами машини, але й від режимів та умов використання останніх. Дотепер складна науково-технічна задача оцінки довговічності рам на стадії проектування вирішена не повністю. Отже, розроблення методів аналізу міцності конструкцій рам машин для забезпечення вимог до їхньої металоємності і довговічності є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час дослідження міцності несних систем сільськогосподарських машин, які працюють, як правило, в умовах нестаціонарних режимів навантаження [1 – 3], широкого поширення набув статистичний аналіз навантаженості з позиції лінійного накопичення втомних пошкоджень і підрахунок запасів міцності до втоми, що викладено в працях С. В. Серенсена і його школи [4 – 6]. Однак, цей метод вимагає проведення значної серії випробувань і передбачає серйозні витрати праці на обробку отриманих результатів.

Мета і постановка задач дослідження. Метою дослідження є розроблення удосконаленого методу визначення асиметричної навантаженості та міцності рамної конструкції з використанням методів схематизованих діаграм, що допоможе суттєво знизити витрати праці у розрахунках та автоматизувати останні.

Виклад основного матеріалу. Коефіцієнт запасу міцності у симетричному циклі навантаження виражається залежністю [6]:

$$n_{-1k} = \frac{\sigma_{-1k}}{\sigma_{екв}}, \quad (1)$$

де σ_{-1k} – границя втоми ділянки (перетину) конструкції; $\sigma_{екв}$ – еквівалентна амплітуда, яка характеризує собою експлуата-

ційну навантаженість тієї ж ділянки.

Під час дослідження втомної міцності рами універсальної зернотукової сівалки ASTRA 4 Premium необхідно було визначити втомні характеристики для можливо більшого числа її ділянок на одному екземплярі випробуваної конструкції. Тому був застосований метод ступеневого підвищення напружень.

Конструкція при цьому випробовується в такий спосіб: починаючи з напруження, яке свідомо нижче границі витривалості рама піддається змінним нагруженням, які послідовно зростають у часі, і доводиться до руйнування. Для наближення вузлових навантажень до реальних, а, отже, і для відтворення експлуатаційної форми коливань, стендові випробування втомної міцності рами сівалки проводилися із закріпленням на ній бункером.

Границя втоми σ_{-1k} ділянки рами визначається з урахуванням впливу накопичення втомних пошкоджень за кумулятивною гіпотезою [6]:

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = a, \quad (2)$$

де n_i – число циклів напружень, відтворених за амплітуди σ_i ; N_i – число циклів напружень, відтворених за амплітуди σ_i , після якого настає втомне руйнування цієї ділянки рами; a – величина, яка визначається властивостями металу і режимом змінної завантаженості; k – кількість пошкоджень, викликаних цим циклом напружень.

Границя витривалості певної ділянки рами з урахуванням (2) і ступеневого закону у вигляді

$$\sigma_{-1k} = \sqrt[m]{\frac{1}{\alpha N_0} \sum_{i=1}^k \sigma_i^m n_i} \quad (3)$$

виражаються формулою:

$$\sigma_i^m N_i = \sigma_{-1k}^m N_0 = const, \quad (4)$$

де m – показник ступеня кривої Веллера (для сталевих конструкцій $m \leq 12$; величина $m = 8$ відповідає сталі з $\sigma_T = 2400$ кг/см², величина $m = 6$ – сталі з $\sigma_T = 4000$ кг/см²); N_0 – базове чис-

ло циклів; σ_i – амплітуда напружень i -го етапу випробувань, приведена до симетричного циклу; n_i – кількість циклів напружень, сприйнятих конструкцією під час i -го етапу випробувань.

Для визначення всіх значень σ_{-1k} значення m було прийнято рівним 9. Тоді $\sqrt[m]{a} \approx 1$ і

$$\sigma_{-1k} = \sqrt[m]{\frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^k \sigma_i^m n_i} \quad (5)$$

Приведення амплітуд напружень до симетричного циклу здійснюється за формулою:

$$\sigma_i = \sigma_{ai} + \psi_{\sigma i} \sigma_m, \quad (6)$$

де σ_{ai} – амплітудне значення циклу i -го етапу випробування ділянки рами; σ_m – середнє значення циклу тієї ж ділянки; $\psi_{\sigma i}$ – коефіцієнт чутливості металу до асиметрії циклу.

Для експериментального визначення границі витривалості випробуванням одного зразка певний інтерес представляє метод, запропонований Локаті [5, 6]. На рисунку 1 показані всі побудови, пов'язані з визначенням границі втоми за цим методом для однієї з ділянок заднього бруса рами сівалки.

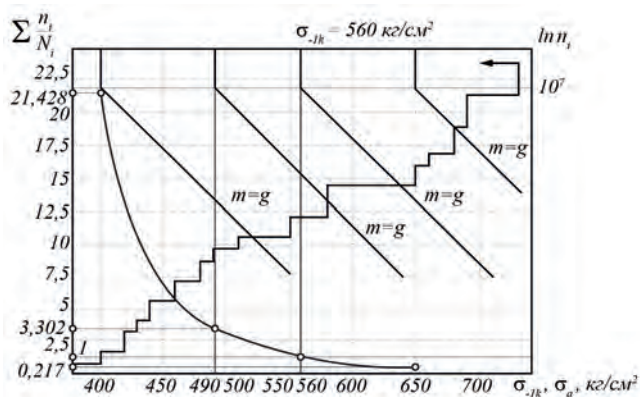


Рисунок 1 – Графічні побудови, які пояснюють визначення границі втоми ділянки (перетину) рами за методом Локаті [5, 6]

У таблиці 1 наведені границі втоми ділянки (перетину) рами, підраховані за формулою (5) і визначені за методом Локаті.

Експериментальне дослідження навантаженості рами було виконано мето-

Таблиця 1 – Границя втоми ділянок (перетинів) рами, визначена різними методами

№ пере-різу	Границя втоми σ_{-1k} , кг/см ²		№ пере-різу	Границя втоми σ_{-1k} , кг/см ²	
	за фор-мулою (5)	за ме-тодом Локаті		за фор-мулою (5)	за ме-тодом Локаті
1	60	60	8	110	110
2	263	260	9	562	560
3	131	130	10	538	–
4	133	130	11	318	–
5	310	310	12	448	–
6	322	320	13	313	–
7	60	60	14	620	–

дом тензометрування як в експлуатаційних, так і в транспортних умовах.

Дослідження проводилися на трьох режимах:

1) імітація сівби з вагою баласту в бункері 500 кг під час заглиблення сошників на глибину 10 см на швидкості 7,76 км/год.;

2) повороти і переїзди на поле з підня-тими сошниками з вагою баласту в бункері 500 кг і зі швидкістю 7,76 км/год.;

3) транспортування дорогою поганої якості з вагою баласту в бункері 250 кг і зі швидкістю 9,9 км/год.

Статистична обробка тензограмм проводилася систематизацією за розмахом з одночасним приведенням циклів експлуатаційних напружень з різною асиметрією до симетричного циклу.

Пропонований спосіб приведення за-снований на застосуванні схематизованої діаграми втомної міцності в координатах «середнє й амплітудне напруження».

Гранична крива передбачається замі-неною на пряму, яка проходить через гра-ницю втоми ділянки рами, у симетрично-му циклі σ_{-1k} через границю міцності σ_{σ} (рис. 2).

Алгоритм приведення полягає в та-кому. За кожною поточною парою мак-симальних і мінімальних значень напру-жень, які однозначно визначають собою середнє й амплітудне значення напівци-клу, підраховується поточне значення ψ_i (коефіцієнт чутливості ділянки рами до асиметрії циклу) за формулою:

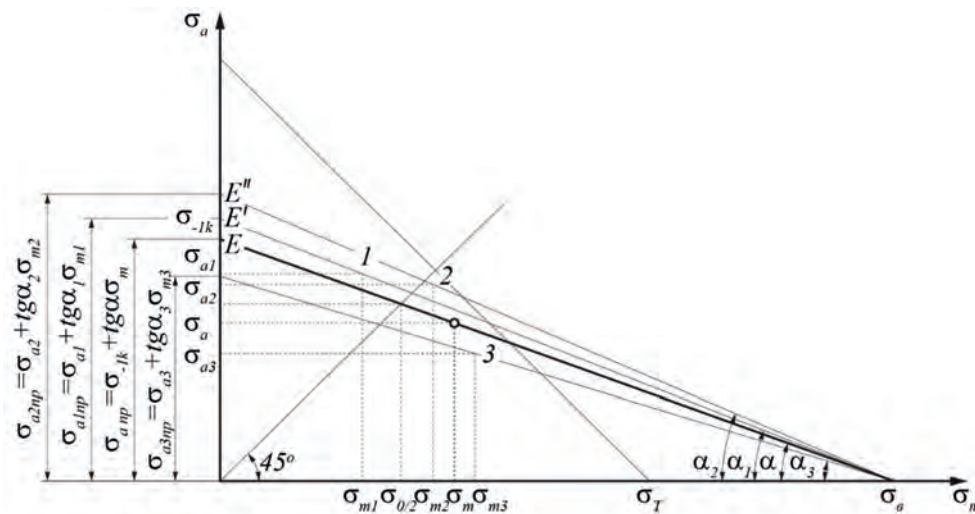
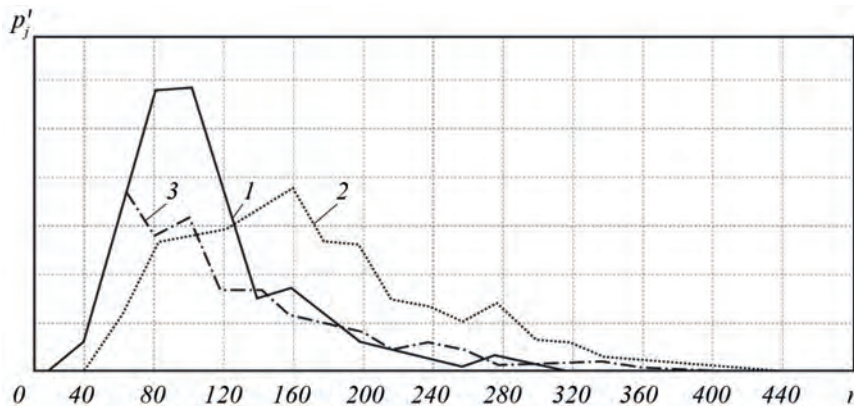


Рисунок 2 – Повна діаграма втомної міцності ділянки (перетину) рами зі втомою (у симетричній схемі, яка пояснює метод приведення асиметричного навантаження до симетричного циклу)

$$\psi_j = \frac{\sigma_{0j}}{\sigma_s - \sigma_{mj}}. \quad (7) \quad (8), \text{ виражається так:}$$

Потім за формулою (6) обчислюється приведена до симетричного циклу амплітуда напівциклу.

Так виходить дискретний розподіл амплітуд, приведених до симетричного циклу (рис. 3).



1 – імітація сівби; 2 – повороти і переїзди на поле з піднятими сошниками; 3 – транспортування дорогою поганої якості

Рисунок 3 – Полігон розподілу амплітуд напружень, приведених до симетричного циклу ділянки (перетину) заднього бруса рами, ПК. відповідно до режимів випробування

Еквівалентні напруження для кожної ділянки, з дотриманням умови $\sigma_j \geq 0,6\sigma_{-1k}$, підраховуються за формулою:

$$\sigma_{екв} = \sqrt[m]{\frac{1}{N_0} \sum_{j=1}^f \sigma_j^m n_j}, \quad (8)$$

де σ_j – амплітуда напруження, приведенного до симетричного циклу j -ого класу; n_j – кількість циклів амплітуди σ_j ; $m = 9$ – показник ступеня кривої Веллера; $N_0 = 10^7$ – база випробувань; f – кількість симетричних циклів, до яких приведені напруження.

Запас міцності за

втомою (у симетричній схемі, яка пояснює метод приведення асиметричного навантаження до симетричного циклу) конструкції n_{-1k} за (1), з урахуванням (5) і

$$n_{-1k} = \frac{\sqrt[m]{\frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^k \sigma_i^m n_i}}{\sqrt[m]{\frac{1}{N_0} \sum_{j=1}^f \sigma_j^m n_j}}. \quad (9)$$

Як видно з (9), n_{-1k} не залежить від N_0 .

Запаси міцності, підраховані за (9) для одного з перетинів рами за $m = 6$, $m = 9$ і $m = 12$ відповідно дорівнюють 2,62; 2,57 і 2,51.

Висновки. Через незначні розбіжності в границях втоми, підрахованих за формулою (5) і за методом Локаті (табл. 1), пропонується використовувати перший метод, як менш трудомісткий і як такий, який можна автоматизувати з використанням

Література

1. Калінін Є.І. Частотний аналіз коливань гусеничних тракторів. 3б. наук. праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. До-

слідницьке. 2018. №. 22(36). С. 86-91.

2. Лебедев А.Т., Калінін Є.І. Динамічна модель ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів з пасивними робочими органами у складі енергетичного засобу зі здвоєними шинами. Системи обробки інформації. 2010. № 2. С. 109-115

3. Калінін Є.І., Романченко В.М., Юр'єва Г.П. Формування умови стійкості лінійної системи при випадкових збуреннях її параметрів. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2017. №7. С. 100-108

4. Іванов В.І., Калінін Є.І. Підвищення надійності системи методом селекції її елементів. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. 2015. Вип. 163. С. 142-146.

5. Shanyavskiy A.A. Bifurcation diagram for in-service fatigued metals. Procedia Engineering. 2010. Vol. 2. Issue 1. P. 241-250.

6. Трощенко В.Т., Красовский А.Я., Покровский В.В., Сосновский Л.А., Стрижало В.А. Сопротивление материалов деформированию и разрушению: Справочное пособие. — К.: Наукова думка, 1993 — 506 с.

7. Лебедев А.Т., Калінін Є.І. Теоретичне дослідження тягово-зчіпних властивостей тракторів, обладнаних здвоєними шинами, під час виконання ґрунтообробних робіт на агрофоні підвищеної вологості. Зб. наук. праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2010. №. 14(28). С. 216-224.

Literature

1. Kalinin E.I. Frequency analysis of vibrations of tracked tractors. Coll. Science. works L. Pogorilyy UkrNDIPVT. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Doslidnytske. 2018. 22(36). 86-91.

2. Lebedev A.T., Kalinin E.I. A dynamic model of the front-sided machine-tractor units with lively working bodies at the warehouse of energetic troubles with healthy tires. Information Processing Systems. 2010. 2. 109-115.

3. Kalinin E.I., Romanchenko V.M., Yurueva G.P. Formation of stability condition of a linear system with random perturbations of its parameters. Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes. 2017. 7. 100-108

4. Ivanov V.I., Kalinin E.I. Improving the reliability of the system by the method of selection of its elements. Problems of reliability of machines and means of mechanization of agricultural production: Bulletin of Petro Vasylenko KhNTUSG. 2015. Vol.163. 142-146

5. Shanyavskiy A.A. Bifurcation diagram for in-service fatigued metals. Procedia Engineering. 2010. Vol. 2. Issue 1. P. 241-250.

6. Troshchenko V.T., Krasovsky A.Ya., Pokrovsky V.V., Sosnovsky L.A., Strizhalo V.A. Resistance to Deformation and Destruction of Materials: A Handbook. — K.: Naukova Dumka, 1993 — 506 p.

7. Lebedev A.T., Kalinin E.I. Theoretically, the driving power of tractors possessing healthy tires, the hour of a weekend of working robots on agricultural landlines. Coll. Science. works L. Pogorilyy UkrNDIPVT. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Doslidnytske. 2010. 14(28). 216-224.

Literatura

1. Kalinin E.I. Chastotnij analiz kolivan gusenichnih traktoriv. Zb. nauk. prats UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho. Tekhniko-tekhnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannya novoi tekhniki i tekhnologii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy. Doslidnytske. 2018. № 22(36). S. 86-91.

2. Lebedyev A.T., Kalinin E.I. Dinamichna model gruntoobrobnihi mashinno-traktornih agregativ z pasivnimi robocimi organami u skladi energetichnogo zasobu zi

zdvoyneni shynami. Sistemi obrobki informaciyi. 2010. № 2. S. 109-115

3. Kalinin E.I., Romanchenko V.M., Yuryeva G.P. Formuvannya umovi stijkosti liniynoyi sistemi pri vipadkovih zbyrennyah yiyi parametriv. Tehnichnij servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv. 2017. № 7. S. 100-108

4. Ivanov V.I., Kalinin E.I. Pidvishennya nadijnosti sistemi metodom selekciyi yiyi elementiv. Problemi nadijnosti mashin ta zasobiv mehanizaciyi silskogospodarskogo virobnictva: Visnik HNTUSG imeni Petra Vasilenka. 2015. Vip. 163. S.142-146

5. Shanyavskiy A.A. Bifurcation diagram for in-service fatigued metals. Procedia Engineering. 2010. Vol. 2. Issue 1. P. 241-250.

neering. 2010. Vol. 2. Issue 1. P. 241-250.

6. Troshenko V.T., Krasovskij A.Ya., Pokrovskij V.V., Sosnovskij L.A., Strizhalo V.A. Soprotivlenie materialov deformirovaniyu i razrusheniyu: Spravochnoe posobie. – K.: Naukova dumka, 1993 – 506 s.

7. Lebedyev A.T., Kalinin E.I. Teoretichne doslidzhennya tyagovo-zchipnih vlastivostej traktoriv, obladnanih zdvoyneni shynami, pid chas vikonannya gruntoobrobnih robiv na agrofoni pidvishenoyi vologosti. Zb. nauk. prats UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho. Tekhniko-tehnolohichni aspekty rozvytku ta vyprovuvannya novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy. Doslidnytske. 2010. №. 14(28). S. 216-224.

UDC 631.539.3

RESEARCH OF ASYMMETRIC LOADING AND STRENGTH OF FRAMEWORK CONSTRUCTION BY METHODS OF SCHEMATIZED DIAGRAMS (ON THE CASE OF ASTRA 4 PREMIUM SEEDER FRAME)

Kalinin E., Ph. D,

Associate Professor,

Kharkiv Petro Vasilenko National Technical University of Agriculture,

e-mail: kalininhntusg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6191-8446>;

Myasushka M., junior Researcher,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2178-1144>

Kharkiv branch of SSO «L. Pogorilyy UkrNDIPVT»

Summary

The Purpose of the study is to develop an improved method for determining the asymmetric loading and strength of a frame structure using the methods of diagrammatic diagrams, which will significantly reduce labor costs in the calculations and automate them.

Research methods. *The methods of the theory of an elastic deformable body and a computational experiment, as well as elements of the theory of accumulation of fatigue fractures are used in the work.*

The results of the study. *When studying the fatigue strength of the frame of the ASTRA 4 Premium universal grain-seeder seeder, it was necessary to determine the fatigue characteristics for the largest possible number of its sections on one instance of the tested design. Therefore, the method of stepwise increase in voltage was applied. An experimental study of the frame loading was carried out by the method of strain gauging both in operational and in transport conditions.*

Studies were carried out in three modes: imitation of sowing; turns and crossings to the field with openers raised; poor quality road transportation. Statistical processing of tensograms was carried out by systematization on a scale with simultaneous reduction of operating stress cycles with different

asymmetries to a symmetric cycle. The proposed reduction method is based on the use of a schematic diagram of fatigue strength in the coordinates «average and amplitude stress». The limit curve is supposed to be replaced by a straight line passing through the fatigue border of the frame section, with a symmetrical cycle through the tensile strength.

For each current pair of maximum and minimum voltage values, which uniquely determine the average and amplitude values of the half-cycle, the current value of the coefficient of sensitivity of the frame section to the cycle asymmetry is calculated. Then the half-cycle amplitude reduced to a symmetric cycle is calculated. Thus, a discrete distribution of amplitudes reduced to a symmetric cycle is obtained.

Conclusions. Due to insignificant differences in the limits of fatigue, calculated by the proposed method and by the Lokati method, it is proposed to use the first method, which is less time-consuming and as such, which can be automated using a PC.

Keywords: asymmetric loads, fatigue failure, Weller curve, Lokati method, fatigue limit, seeder frame.

УДК 631.539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ И ПРОЧНОСТИ РАМНОЙ КОНСТРУКЦИИ МЕТОДАМИ СХЕМАТИЗИРОВАННЫХ ДИАГРАММ (НА ПРИМЕРЕ РАМЫ СЕЯЛКИ ASTRA 4 PREMIUM)

Калинин Е., д-р. техн. наук, доц.,
e-mail: kalininhntusg@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-6191-8446>,
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка,
Мясушка М.,
e-mail: hfukrndipvt@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-2178-1144>
Харьковский филиал ГНУ «УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого»

Аннотация

Цель исследования – разработка усовершенствованного метода определения асимметричной нагруженности и прочности рамной конструкции с использованием методов схематизированных диаграмм, что позволит существенно снизить затраты труда при расчетах и автоматизировать последние.

Методы исследования. В работе использованы методы теории упругого недеформируемого тела и вычислительного эксперимента, а также элементы теории накопления усталостных разрушений.

Результаты исследований. При исследовании усталостной прочности рамы универсальной зернотуковой сеялки ASTRA 4 Premium необходимо было определить усталостные характеристики для возможно большего числа ее участков на одном экземпляре испытанной конструкции. Поэтому был применен метод ступенчатого повышения напряжений. Экспериментальное исследование нагруженности рамы было выполнено методом тензометрирования как в эксплуатационных, так и в транспортных условиях.

Исследования проводились на трех режимах: имитация сева; повороты и переезды на поле с поднятыми сошниками; транспортировка по дороге плохого качества. Статистическая обработка тензограмм проводилась систематизацией по размаху с одновременным приведением циклов эксплуатационных напряжений с разной асимметрией к симметричному циклу. Предлагаемый способ приведения основан на применении схематизированной диаграммы усталостной прочности в координатах «среднее и амплитудное напряжение». Предельная кривая предполагается замененной на прямую, проходящую через границу усталости участка рамы, при симметричном цикле через предел прочности.

По каждой текущей паре максимальных и минимальных значений напряжений, которые однозначно определяют собой среднее и амплитудное значение полуцикла, подсчитывается текущее значение коэффициента чувствительности участка рамы к асимметрии цикла. Затем вычисляется приведенная к симметричному циклу амплитуда полуцикла. Таким образом получается дискретное распределение амплитуд, приведенных к симметричному циклу.

Выводы. В связи с незначительными различиями в пределах усталости, подсчитанных по предложенному методу и по методу Локати, предлагается использовать первый метод, как менее трудоемкий и как таковой, который можно автоматизировать с использованием ПК.

Ключевые слова: асимметричные нагрузки, усталостные разрушения, кривая Веллера, метод Локати, предел усталости, рама сеялки.