

УДК 629.113

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАДАЮЩЕГО ДОЖДЯ ПРИ РАСЧЁТЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

А. С. Груздев, к. т. н., доц., В. С. Надеждин, к. т. н., доц., Ф. А. Фараджев, к. т. н. /
 Университет машиностроения
 П. А. Красавин, к. т. н., доц. / ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»

Проблемы совершенствования конструкций несущих систем (НС) транспортных средств относятся к разряду наиболее трудоёмких и сложных, требующих больших трудозатрат и серьёзных капиталовложений [1, 9].

Наиболее рациональным методом разработки новых и совершенствования уже известных модификаций НС является создание математических моделей процессов деформации и расчёта прочностных показателей этих конструкций в условиях эксплуатации.

В данной работе рассматривается применение метода падающего дождя при расчёте критериев долговечности НС транспортного средства на примере автобуса «Московит».

Исследование разрушений рамы автобуса «Московит», наблюдаемых при эксплуатации, показало, что данные разрушения имеют усталостный характер и являются следствием деформации изгиба рамы: в первую очередь — в вертикальной плоскости, а во вторую — в горизонтальной плоскости и плоскости кручения относительно продольной оси [2–6].

При предлагаемом подходе к расчёту критериев долговечности элементов НС автобуса «Московит»

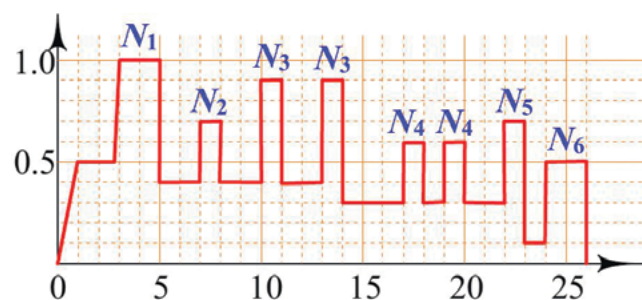


Рисунок 1. Типовая циклограмма нагружения

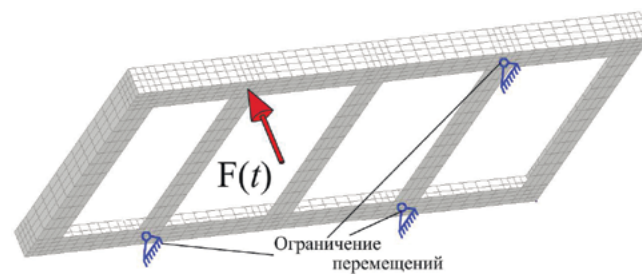


Рисунок 2. Конечно-элементная модель рамы

Таблица 1

Циклы	Нагрузка	Количество циклов
N_1	0 — 1 — 0	1
N_2	0,4 — 0,7 — 0,4	1
N_3	0,4 — 0,9 — 0,4	2
N_4	0,3 — 0,6 — 0,3	2
N_5	0,3 — 0,7 — 0,3	1
N_6	0,1 — 0,5 — 0,1	1

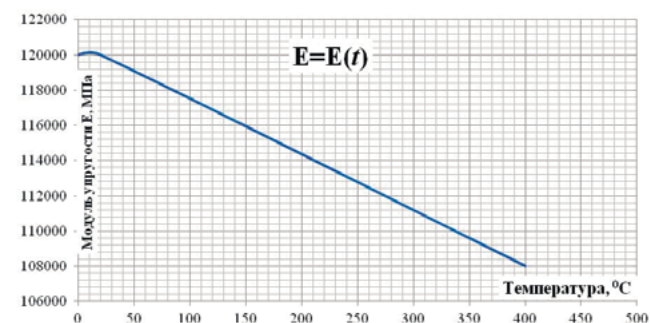


Рисунок 3. Зависимость модуля упругости от температуры

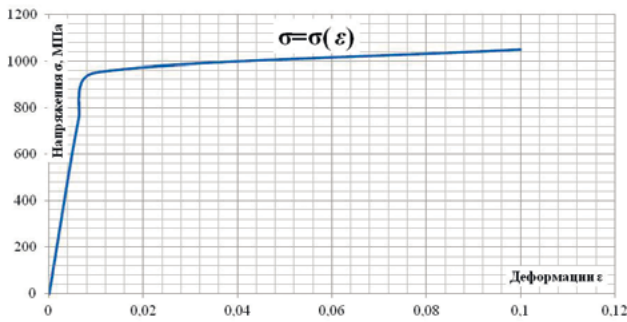


Рисунок 4. Зависимость напряжений от деформаций

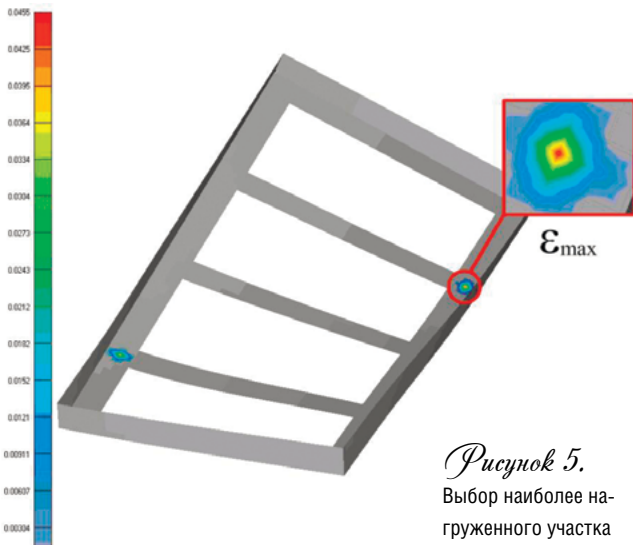


Рисунок 5. Выбор наиболее нагруженного участка

методом падающего дождя типовая циклограмма нагружения представляется в таком виде, как показано на рис. 1.

Методом падающего дождя вычленяются основные циклы нагружения, параметры которых заносятся в табл. 1.

Конечно-элементная модель деталей конструкции с граничными условиями рассматривается при самом напряжённом расчётном случае (рис. 2).

Свойства материала принимаются физически нелинейными, и задача решается в упругопластической постановке (рис. 3, 4).

Рассмотрим образец расчёта на примере цикла, соответствующего циклу № 1 ($N_p, 0 - 1 - 0$) (см. рис. 1, табл. 1). После проведения расчётов методом конечных элементов выбирается опасный участок с максимальными деформациями (соответственно, и с наибольшими напряжениями) (рис. 5) [11].

В представленной работе для выбора наиболее рациональной расчётной методики проводится упругопластический конечно-элементный расчёт циклов N_i с определением размаха полной упругопластической деформации в цикле ($\Delta\varepsilon$): $0 - 1 - 0$.

На основе размаха упругих напряжений и уравнения Нейбера с учётом обобщённого принципа Мазинга определяется диаграмма циклического деформирования (ДЦД), с помощью которой вычисляются параметры цикла: размахи полной упругопластической деформации ($\Delta\varepsilon$) и средние напряжения в цикле (σ_m) [7, 8, 10].

Максимальные напряжения σ_{max} и деформация ε_{max} в цикле определяются с учётом их упругопластического перераспределения по формулам Нейбера, преобразованным к виду

$$\begin{aligned} (\sigma_{max}^{yup})^2 &= E \sigma_{max} \varepsilon_{max}; \\ \varepsilon_{max} &= f(\sigma_{max}). \end{aligned}$$

Наиболее эффективным способом описания стабилизированной диаграммы является использование обобщённого принципа Мазинга:

$$\Delta\varepsilon = Af(\Delta\sigma / A),$$

позволяющего получить ДЦД пропорциональным увеличением диаграммы растяжения с переходом от координат (σ, ε) к координатам $(\Delta\sigma, \Delta\varepsilon)$. Коэффициент пропорциональности в уравнении определяется равенством

$$A = 1 + \frac{\sigma_{f0}^{f_0}}{\sigma_{f0}^{f_1}}.$$

Система уравнений замыкается с помощью формулы Нейбера:

$$(\sigma_{max}^{yup})^2 = E \Delta\sigma \Delta\varepsilon,$$

определяющей размахи напряжений и деформаций независимо от номера цикла ($\Delta\sigma, \Delta\varepsilon$) и, соответственно, недостающие параметры цикла:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{min} &= \sigma_{max} - \Delta\sigma \\ \varepsilon_{min} &= \varepsilon_{max} - \Delta\varepsilon \\ \sigma_m &= 0.5(\sigma_{max} - \sigma_{min}) \end{aligned} \right\}.$$

Далее по полученным значениям $\Delta\varepsilon$ и σ_m по модифицированной формуле Мэнсона для размаха полных деформаций:

$$\Delta\varepsilon_a = \ln\left(\frac{1}{1-\psi}\right)^{0.6} N^{-0.6} + \frac{3.5(\sigma_B - \sigma_m)}{E} N^{-1.2},$$

вычисляется количество циклов (N) до появления макроскопической трещины, где ψ — относительное сужение поперечного сечения; E — модуль упругости; σ_B — предел прочности; σ_m — среднее напряжение цикла.

По типовой диаграмме определяются координаты точек петли, соответствующей циклу № 1 ($N_p, 0 - 1 - 0$). Например: верхняя точка ($\sigma = 1271$ МПа, $\varepsilon = 0,041$) и нижняя точка ($\sigma = 365$ МПа, $\varepsilon = 0,0438$). Тогда среднее напряжение в цикле $\sigma = 818$ МПа.

Таким образом, из модифицированной формулы Мэнсона:

$$N_{max} = N_i = 1\,020 \text{ циклов.}$$

Повреждаемость для циклов $N_i = 1/1\,020 = 9,8039e^{-4}$.

По аналогии находится повреждаемость для остальных циклов. Как видно, представленный метод падающего дождя является весьма эффективным инструментом при расчёте повреждаемости и долговечности НС транспортного средства.

Следует отметить, что указанный метод является не единственным для расчёта элементов деталей и машин по показателям долговечности. В частности, методы схематизации случайных процессов нагружения, возникающих в условиях эксплуатации или испытаний элементов машин и конструкций, и статистического представления результатов схематизации регламентированы ГОСТ [12]. Методы схематизации применяются для расчётной оценки усталостной долговечности элементов по критериям накопления усталостных повреждений на стадиях до появления макроскопической усталостной трещины и её развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Автомобили: конструкции, конструирование и расчёт / под ред. А. И. Гришкевича. — Минск: Высшая школа, 1987. — 200 с.
2. Боровских В. Е., Колокольцев В. А., Солин И. В. О факторах, влияющих на точность оценки долговечности элементов несущей системы конструкции машины на стадии проектирования. — Саратов: Саратов. политехн. ин-т, 1991. — 13 с.
3. Годжаев З. А., Сергеев В. Н., Фараджев Ф. А. Многокритериальный выбор эффективной конструкции рамы // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2006. — № 3. — С. 20–25.
4. Годжаев З. А., Фараджев Ф. А., Матвеев Е. А., Надеждин В. С. Перспективные методы создания несущих систем автотранспортных средств, в том числе по критериям безопасности // Журнал автомобильных инженеров. — 2012. — № 4. — С. 34–38.
5. Годжаев З. А., Фараджев Ф. А., Матвеев Е. А., Надеждин В. С. Особенности расчёта напряжённо-деформированного состояния несущей системы пассажирского автобуса // Журнал автомобильных инженеров. — 2012. — № 4. — С. 20–23.
6. Годжаев З. А., Фараджев Ф. А., Красавин П. А., Надеждин В. С. К вопросу моделирования нелинейного пневмоупругого элемента пассажирского автобуса // Наука и образование. — 2014. — № 12. — С. 308–322.
7. Гольд Б. В., Оболенский Е. П., Стефанович Ю. Г. Прочность и долговечность автомобиля. — М.: Машиностроение, 1974.
8. Капуста П. П., Слабко И. А. Система экспериментальной оценки нагруженности и сопротивления усталости несущих конструкций и материалов грузовых автомобилей при дорожных и стендовых испытаниях // Грузовик. — 2007. — № 8.
9. Конструкция автомобиля. Шасси / под общ. ред. А. А. Карунина. — М.: Москва, 2000. — 528 с.
10. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчёты деталей машин на прочность. — М.: Машиностроение, 1975. — 488 с.
11. Zienkiewicz O. C., Taylor L. R. The Finite Element Method. — Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2000. — 707 p.
12. ГОСТ 25.101–83. Расчёты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов.