



ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛІЧЕСЬКІ КОНСТРУКЦІЇ  
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
METAL CONSTRUCTIONS

2019, ТОМ 25, НОМЕР 1, 159–170  
УДК 624.014.27

(19)-0401-1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МОСТОВОГО СООРУЖЕНИЯ НА АВТОДОРОГЕ ДОНБАССА

А. Н. Миронов<sup>1</sup>, Ю. Р. Рыб<sup>2</sup>, Ю. А. Марченкова<sup>3</sup>, А. В. Танасогло<sup>4</sup>

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> andreyexp@mail.ru, <sup>2</sup> yulia29.02@mail.ru, <sup>3</sup> marchenkova.julia@mail.ru, <sup>4</sup> a.v.tan@mail.ru

Получена 30 октября 2019; принята 22 ноября 2019.

**Аннотация.** В работе выполнен инженерный расчет и оценка напряженно-деформированного состояния несущих элементов пролетного строения. Произведен анализ и сбор информации по интенсивности дорожного движения на 2019 г. Рассмотрена история загрузки мостового сооружения реальной нагрузкой на основании математической модели (представленной в виде геометрической прогрессии) – показывающей ежегодный прирост интенсивности движения транспорта по мостовому сооружению. Определено суммарное усталостное повреждение несущих элементов пролетного строения по гипотезе Пальмгрена-Майнера и период истощения эксплуатационного ресурса мостового сооружения.

**Ключевые слова:** грузоподъемность, нагружение, история нагружения, остаточный ресурс, суммирование Майнера, усталостная долговечность.

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МОСТОВОЇ СПОРУДИ НА АВТОДОРОЗІ ДОНБАСУ

А. М. Миронов<sup>1</sup>, Ю. Р. Риб<sup>2</sup>, Ю. О. Марченкова<sup>3</sup>, А. В. Танасогло<sup>4</sup>

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> andreyexp@mail.ru, <sup>2</sup> yulia29.02@mail.ru, <sup>3</sup> marchenkova.julia@mail.ru, <sup>4</sup> a.v.tan@mail.ru

Отримана 30 жовтня 2019; прийнята 22 листопада 2019.

**Анотація.** У роботі виконано інженерний розрахунок і оцінку напружено-деформованого стану несучих елементів прогонової будови. Проведено аналіз і збір інформації щодо інтенсивності дорожнього руху на 2019 р. Розглянута історія навантаження мостової споруди реальним навантаженням на підставі математичної моделі (поданої у вигляді геометричної прогресії), що показує щорічний приріст інтенсивності руху транспорту по мостовому спорудженні. Визначено сумарне втомне пошкодження несучих елементів прогонової будови за гіпотезою Пальмгрена-Майнера і період вичерпання експлуатаційного ресурсу мостової споруди.

**Ключові слова:** вантажопідйомність, навантаження, історія навантаження, залишковий ресурс, підсумовування Майнера, втомна довговічність.

## DETERMINING THE REMAINING LIFE OF A BRIDGE STRUCTURE ON THE DONBAS HIGHWAY

Andrey Mironov<sup>1</sup>, Yulia Ryb<sup>2</sup>, Yulia Marchenkova<sup>3</sup>, Anton Tanasoglo<sup>4</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

*2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup> andreyexp@mail.ru, <sup>2</sup> yulia29.02@mail.ru, <sup>3</sup> marchenkova.julia@mail.ru, <sup>4</sup> a.v.tan@mail.ru*

*Received 30 October 2019; accepted 22 November 2019.*

**Abstract.** Engineering calculation and estimation of the stress-strain state of the bearing elements of the superstructure is carried out. The analysis and collection of information on traffic intensity for 2019 was made. The history of loading a bridge structure with a real load is considered on the basis of a mathematical model (presented as a geometric progression) that shows the annual increase in traffic intensity along the bridge structure. The total fatigue damage of the bearing elements of the superstructure is determined according to the Palmgren-Miner hypothesis and the period of exhaustion of the operational resource of the bridge structure.

**Keywords:** load capacity, loading, history of loading, residual resource, the miner's summation of fatigue durability.

### Введение

Мост представляет собой сооружение, которое служит для пропуска транспорта через препятствия (водные преграды, каньоны, дороги) и состоит из пролетных строений, опор и фундаментов.

Строительство автомобильных мостов в Донецкой области началось после окончания Великой Отечественной войны. А средний срок службы существующих мостовых сооружений составляет 50–60 лет. За относительно короткий период эксплуатации мы сможем наблюдать значительный усталостный износ и наличие структурных повреждений мостовой конструкции. И это неудивительно, так как мостостроители того времени не располагали необходимым арсеналом строительных материалов, конструкций, технологий и механизмов, которые имеются на данный момент. Кроме того, с постепенным ростом населения количество транспортных средств увеличилось, что привело к повышению эксплуатационной нагрузки на мосты (которую конструкторы того времени не могли учесть заранее). В результате с течением времени несущие элементы мостов исчерпали свою несущую способность [2, 7, 11]. И в настоящее время есть необходимость в обследовании мостовых сооружений [8, 9].

Исходя из вышеперечисленного, следует заметить, что для мостовых сооружений, эксплуатируемых на дорогах Донбасса, определение их остаточного ресурса на основе анализа напряженно-деформированного состояния конструкций с применением действующих норм проектирования является на сегодняшний день наиболее актуальной задачей [1–6].

### Описание объекта исследований

Объектом исследования является искусственное транспортное сооружение через реку Кальмиус по проспекту Ильича в г. Донецке (рис. 1). Мост расположен на автодороге общереспубликанского значения и предназначен для пропуска автомобилей, автобусов, троллейбусов и пешеходов.

Расположение моста в плане – на прямой перпендикулярно к естественному препятствию, в продольном профиле – на выпуклой вертикальной кривой, перекрывая несудоходную реку Кальмиус.

*Основные габариты моста:*

- длина моста (по задним граням устоев) – 206,0 м;
- габарит моста – Г-14 + 2,0×3,0 (м);



**Рисунок 1.** Мост через реку Кальмиус по проспекту Ильича в г. Донецк.

- подмостовой габарит – 3,0 м;
- отверстие моста – 192,0 м;
- глубина подмостового русла – 4,0 м.

#### *Конструктивные решения*

Сооружение моста состоит из несущих железобетонных массивных опор. Устой моста – массивные из монолитного железобетона на свайном фундаменте с обратными стенками.

Промежуточные опоры № 1, 2, 7, 8 выполнены в виде массивных прямоугольных призм сечением 15,4×1,5 м. Опоры № 3, 4, 5 и 6 выполнены в виде двух столбов, которые опираются на общий ростверк.

Пролеты моста перекрыты 3-пролетными балочными неразрезными сталежелезобетонными [18, 19] пролетными строениями двух типов:

- в береговых пролетах (0-1-2-3 и 6-7-8-9) по схеме 15,68 + 16,00 + 17,06 (м);
- в центральных пролетах (3-4-5-6) по схеме 33,84 + 37,60 + 33,84 (м).

Сталежелезобетонное пролетное строение центральных пролетов состоит из монолитной ж/б

плиты (толщиной 160 мм) объединенной с главными балками в одно монолитное сталежелезобетонное сечение, при помощи жестких упоров из стальных уголков 150×100×10. Упоры прикреплены к верхним поясам главных балок четырьмя односрезными заклепками диаметром 22 мм. Шаг упоров изменяется от 850 до 900 мм в центральном пролетном строении.

Главные балки пролетных строений клепаные двутаврового сечения. Высота стенки балок в центральном пролете составляет 1 415 мм. Сечение поясов переменное по длине пролета, изменение достигается за счет постановки дополнительных поясных листов в зонах наибольшего изгибающего момента. Марка стали М16С по ГОСТ 6713-53 [2]. Монтажные стыки главных балок выполнены на заклепках с соединением отпавочных элементов балок поясными листами и двусторонними листами по стенкам.

В поперечном сечении пролетного строения установлено восемь главных балок с шагом 2 000 и 3 400 мм. Продольная, поперечная жесткость, геометрическая неизменяемость и пространственная работа достигается за счет установки:

- системы продольных и поперечных связей между главными балками;
- железобетонной плиты проезжей части, образующей жесткий горизонтальный связевой диск.

### Определение остаточного ресурса мостового сооружения

Остаточный ресурс сооружения – суммарная наработка сооружения от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Остаточный ресурс определяется путем определения усталостной прочности элементов сечения пролетной балки [10, 11].

В отечественных нормах проектирования мостовых сооружений методика расчета на выносливость является наименее обоснованной и логичной.

Во-первых, сама форма расчета является отступлением от подхода к расчетам по предельным состояниям.

В нормах расчет на выносливость стальных элементов выполняется по формуле (1):

$$\sigma_{\max,ef} \leq \gamma_w \cdot R_y \cdot m, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\max,ef}$  – абсолютное наибольшее нормальное напряжение, вызванное воздействием нормативных нагрузок;

$\gamma_w$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности при расчете на выносливость;

$m$  – коэффициент условия работы;

$R_y$  – расчетное сопротивление стали по пределу текучести.

Таким образом, условия загрузки (многократность, сниженный средний уровень по сравнению с воздействиями от нормативной нагрузки) учитываются в правой части предельного неравенства, т. е. в характеристиках материала, а не в левой, как это предусмотрено методикой предельных состояний.

А во-вторых, в нормах на проектирование никоим образом не рассматривается статистическая природа воздействия реальных нагрузок на мостовое сооружение.

Более правильной представляется методика, которая состоит в оценке степени усталости ма-

териала конструкции на основе теории накопления усталостных повреждений, определения срока службы до разрушения элемента по этой причине и сопоставления этого срока с его нормативным значением. Данная методика описана в Еврокод 3 «Проектирование стальных конструкций» [7].

Итак, данная методика состоит в том, что расчет мостовых конструкций на выносливость выполняется исходя из оценки их долговечности по признаку усталости [11, 13].

Усталость в свою очередь представляет собой процесс постепенного накопления повреждений материала в элементах конструкций под действием переменных напряжений, приводящий к изменению свойств, образованию, развитию трещин и к разрушению. Оценивается мерой усталостного повреждения. Усталостное повреждение определяется на основе линейной теории накопления усталостных повреждений (закон Пальмгрена-Майнера).

### Сбор данных для выполнения расчета пролетного строения мостового сооружения на усталость

В марте-апреле 2019 г. было определено фактическое количество единиц транспорта, проезжающих по мосту в течение часа в утреннее (с 8:00 до 9:00), обеденное (с 12:00 до 13:00) и вечернее (с 17:00 до 18:00) время.

Подсчет машин производился по три раза в указанные выше временные отрезки.

По результатам подсчетов было определено среднее значение численности единиц транспорта, проезжающих по мосту в каждый из указанных временных отрезков.

По результатам расчетов была составлена таблица 1.

После определения числа единиц транспорта, проезжающих по мосту в течение часа в разное время суток, для более точного определения фактической нагрузки на строительные конструкции мостового сооружения были определены массогабаритные характеристики автотранспорта.

Математическим методом определена интенсивность движения по мосту за все годы эксплуатации.

Математическая модель (геометрическая прогрессия), показывающая прирост интенсивности

Таблица 1. Средняя численность единиц транспорта

Продолжение таблицы 2

	Направление	
	в Донецк	в Макеевку
<b>Вечер</b>		
Легковые	505	706
Джипы	23	36
Фургоны	18	39
Грузовые	0	3
Автобусы	47	38
Троллейбусы	7	10
<b>День</b>		
Легковые	513	686
Джипы	31	25
Фургоны	28	34
Грузовые	8	12
Автобусы	51	32
Троллейбусы	7	8
<b>Утро</b>		
Легковые	600	635
Джипы	24	54
Фургоны	31	15
Грузовые	3	2
Автобусы	54	32
Троллейбусы	10	7

движения транспорта, вычисляется по формуле (2):

$$N_t = N_o \cdot (1 + \beta)^t, \quad (2)$$

где  $N_o$  – количество транспорта на данный период времени;

$N_t$  – количество транспорта на период времени;

$t$  – период времени;

$\beta$  – процент прироста принимается от 3 до 5%.

Полученные результаты приведены ниже в таблице 2.

Таблица 2. Фактическое количество автотранспортных средств на мосту в период эксплуатации

Год	Количество единиц в час			
	Легковые	Джипы + фургоны	Грузовые + автобусы	Троллейбусы
1	2	3	4	5
<b>2019</b>	676	68	60	8
<b>2018</b>	644	65	57	8
<b>2017</b>	613	62	54	7

1	2	3	4	5
<b>2016</b>	584	59	52	7
<b>2015</b>	556	56	49	7
<b>2014</b>	530	53	47	6
<b>2013</b>	863	87	77	10
<b>2012</b>	822	83	73	10
<b>2011</b>	783	79	69	9
<b>2010</b>	745	75	66	9
<b>2009</b>	710	71	63	8
<b>2008</b>	676	68	60	8
<b>2007</b>	644	65	57	8
<b>2006</b>	613	62	54	7
<b>2005</b>	584	59	52	7
<b>2004</b>	556	56	49	7
<b>2003</b>	530	53	47	6
<b>2002</b>	504	51	45	6
<b>2001</b>	480	48	43	6
<b>2000</b>	458	46	41	5
<b>1999</b>	436	44	39	5
<b>1998</b>	415	42	37	5
<b>1997</b>	395	40	35	5
<b>1996</b>	376	38	33	4
<b>1995</b>	358	36	32	4
<b>1994</b>	341	34	30	4
<b>1993</b>	325	33	29	4
<b>1992</b>	310	31	27	4
<b>1991</b>	295	30	26	3
<b>1990</b>	281	28	25	3
<b>1989</b>	268	27	24	3
<b>1988</b>	255	26	23	3
<b>1987</b>	243	24	22	3
<b>1986</b>	231	23	21	3
<b>1985</b>	220	22	20	3
<b>1984</b>	210	21	19	2
<b>1983</b>	200	20	18	2
<b>1982</b>	190	19	17	2
<b>1981</b>	181	18	16	2
<b>1980</b>	172	17	15	2
<b>1979</b>	164	17	15	2
<b>1978</b>	156	16	14	2
<b>1977</b>	149	15	13	2
<b>1976</b>	142	14	13	2
<b>1975</b>	135	14	12	2
<b>1974</b>	129	13	11	2

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
1973	123	12	11	1
1972	117	12	10	1
1971	111	11	10	1
1970	106	11	9	1
1969	101	10	9	1
1968	96	10	9	1
1967	91	9	8	1
1966	87	9	8	1
1965	83	8	7	1
1964	79	8	7	1
1963	75	8	7	1
1962	72	7	6	1
1961	68	7	6	1
1960	65	7	6	1
1959	62	6	5	1
1958	59	6	5	1
1957	56	6	5	1
1956	53	5	5	1
1955	51	5	5	1
1954	48	5	4	1
1953	46	5	4	1
1952	44	4	4	1
1951	42	4	4	1

По полученным статистическим данным построены блоки загрузки и спектры размаха локальных напряжений с 1951–2019 гг. и представлены на рисунках 2–11.

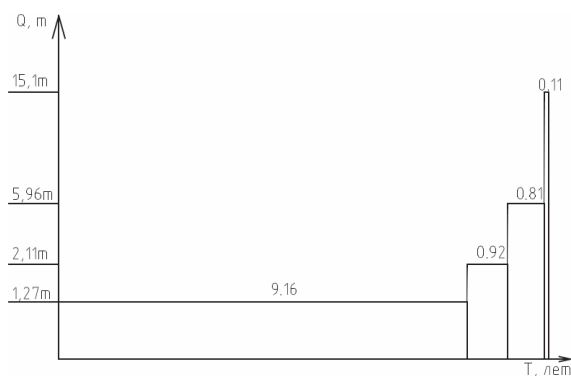


Рисунок 2. Блок загрузки 1951–1961.

### Результаты расчета на усталость

Для обеспечения усталостной прочности элементов, соединений и узлов конструкций, воспринимающих циклы усталостного нагружения переменной амплитуды, необходимо выполнение следующих условий:

- 1) суммарное усталостное повреждение в течение проектной долговечности конструкции не должно превышать 1,0:

$$D_q \leq 1, \quad (3)$$

Суммарное усталостное повреждение в течение проектной долговечности конструкции определяется по гипотезе Пальмгрена-Майнера (4), основанной на линейном накоплении усталостных повреждений:

$$D_q = \sum_{i=1}^n \frac{n_{E,i}}{N_{R,i}} = \frac{n_{E,1}}{N_{R,1}} + \frac{n_{E,2}}{N_{R,2}} + \frac{n_{E,3}}{N_{R,3}} + \dots + \frac{n_{E,n}}{N_{R,n}}, \quad (4)$$

где  $\sum_{i=1}^n \frac{n_{E,i}}{N_{R,i}}$  – сумма линейных накоплений усталостных повреждений за расчетный период времени.

- 2) эквивалентный спектр размахов напряжений при постоянной амплитуде на базе циклов не должен превышать предела выносливости на базе циклов:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} \leq \sqrt[m]{D_q} \cdot \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}}, \quad (5)$$

где  $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}$  – эквивалентный спектр размахов напряжений цикла постоянной амплитуды, который определяется по кривой усталости для соответствующей категории элемента и количества циклов;  
 $\frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}}$  – предел выносливости на базе  $N_c = 2 \times 10^6$  циклов.

Эквивалентный спектр размахов напряжений цикла постоянной амплитуды:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} = 72,9 \text{ МПа}. \quad (6)$$

Предел выносливости на базе циклов:

$$\sqrt[m]{D_q} \cdot \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}} = \sqrt[3]{3,69} \cdot \frac{50}{1,35} = 57,2 \text{ МПа}. \quad (7)$$

Выполним оценку усталостной прочности по двум критериям.

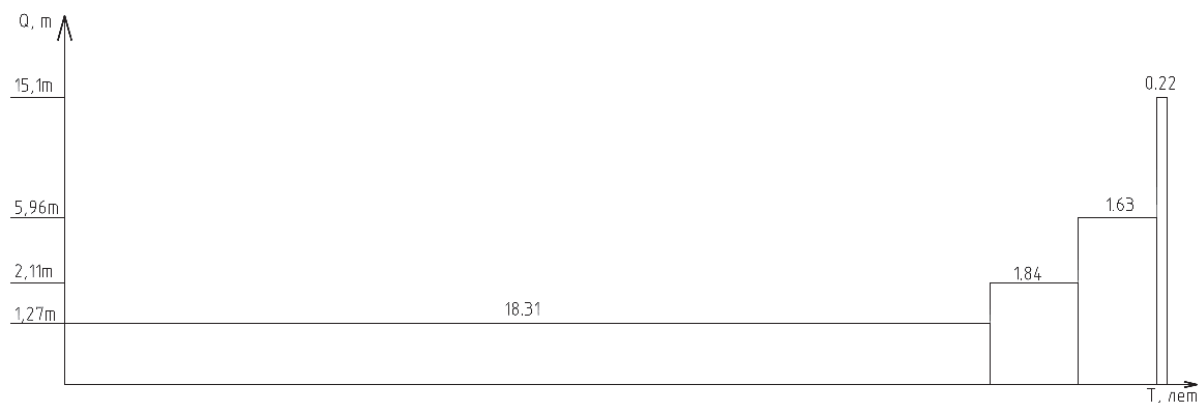


Рисунок 3. Блок загрузки 1962–1983.



Рисунок 4. Блок загрузки 1984–2004.

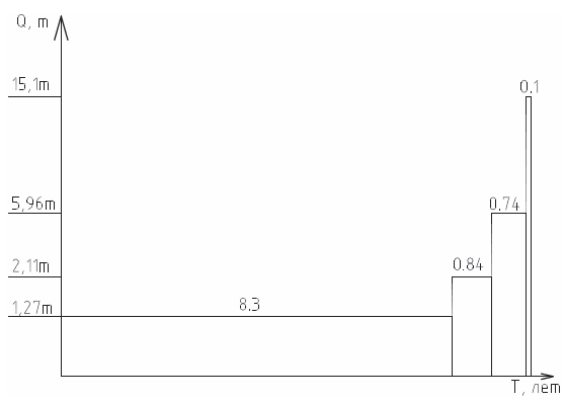


Рисунок 5. Блок загрузки 2005–2014.

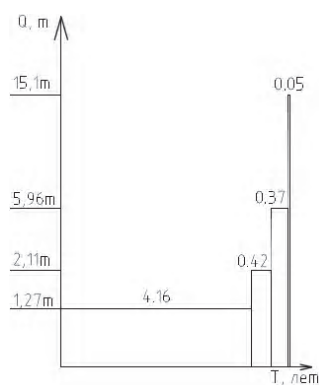


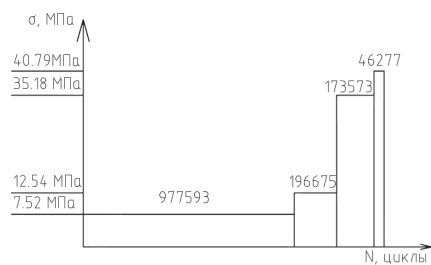
Рисунок 6. Блок загрузки 2015–2019.

1. По критерию накопления повреждений.

Суммарное усталостное повреждение в течение проектной долговечности конструкции определено по гипотезе Пальмгрена-Майнера (4):

$$D_q = \sum_{i=1}^n \frac{n_{E,i}}{N_{R,i}} = 3,69 > 1 \quad (8)$$

Условие не выполняется



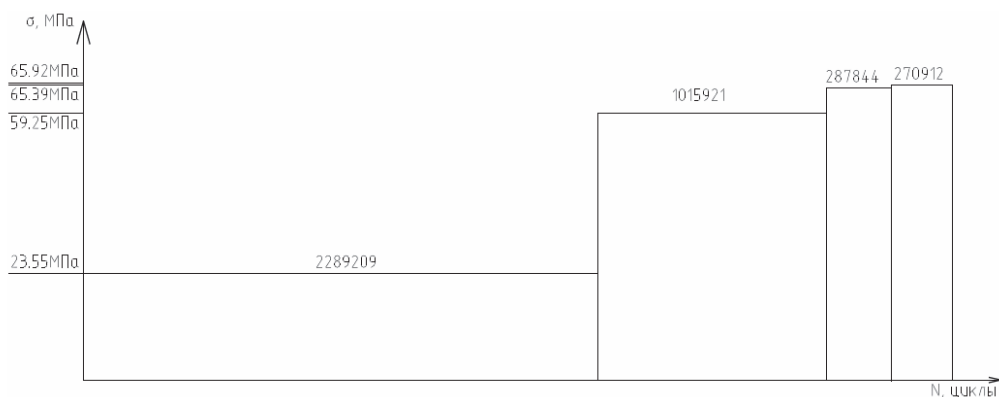
**Рисунок 7.** Спектр размаха локальных напряжений 1951–1961.



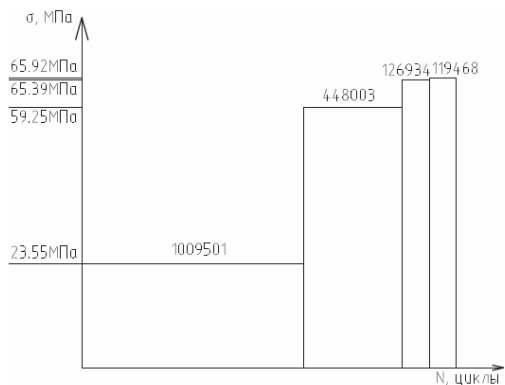
**Рисунок 8.** Спектр размаха локальных напряжений 1984–2004.



**Рисунок 9.** Спектр размаха локальных напряжений 1962–1983.



**Рисунок 10.** Спектр размаха локальных напряжений 2005–2014.



**Рисунок 11.** Спектр размаха локальных напряжений 2015–2019.

2. По критерию размаха напряжений цикла:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} = 72,9 \text{ МПа} > \sqrt[3]{D_q} \cdot \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} =$$

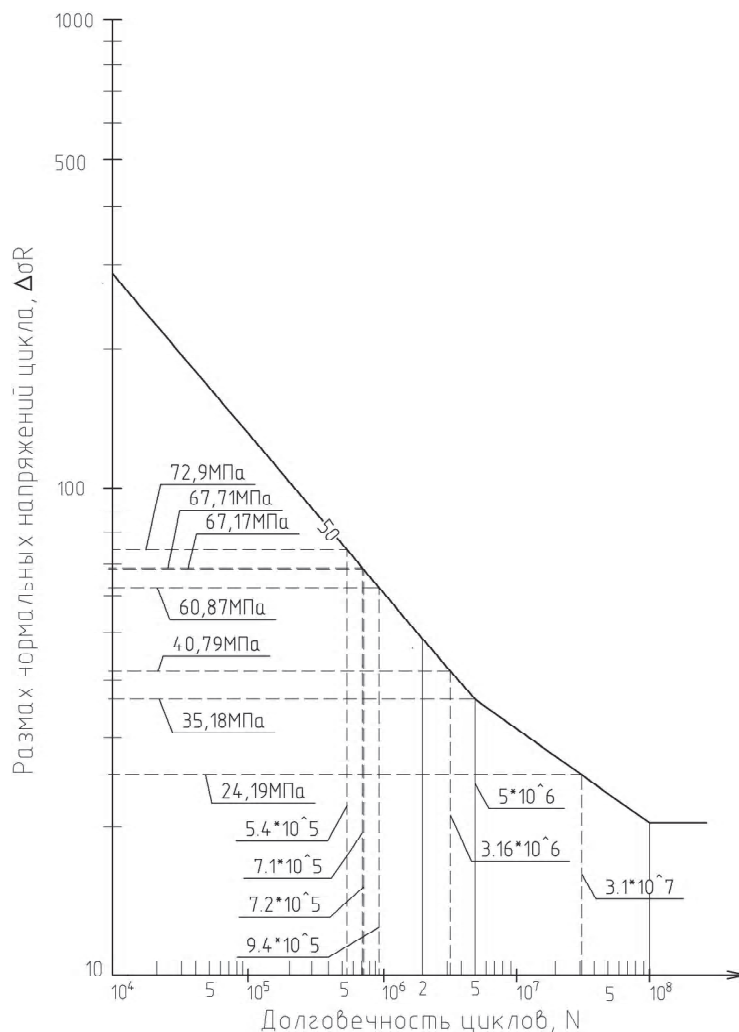
$$= \sqrt[3]{3,69} \cdot \frac{50}{1,35} = 57,2 \text{ МПа} \quad (9)$$

Условие не выполняется.

Усталостная прочность элемента не обеспечена. Эксплуатационный ресурс мостового сооружения на момент 2019 года исчерпан.

Используя полученные данные во время исследования, определили период времени исчерпания эксплуатационного ресурса.





**Рисунок 12.** Кривая сопротивления усталости для 50 категории элемента по размахам напряжений цикла.

Суммарное усталостное повреждение на 2004 год:

$$D_q = 0,91.$$

Суммарное усталостное повреждение на 2005 год:

$$D_q = 1,07.$$

Ресурс моста был исчерпан с 2004 по 2005 год.

### Выводы

1. Проведен статический анализ интенсивности дорожного движения на 2019 год. Рассмотрена история загрузки мостового сооружения реальной нагрузкой с 1951 по 2019 г. Блоки загрузки в разные временные периоды разработаны на основании математи-

ческой модели (представленной в виде геометрической прогрессии) – показывающей ежегодный прирост интенсивности движения транспорта по мостовому сооружению.

2. Была определена фактическая интенсивность движения на 2019 год, которая показала численное преобладание легкового автомобильного транспорта над иными видами транспортных средств.
3. Суммарное усталостное повреждение, определенное по гипотезе Пальмгрена-Майнера, составило 3,69 – при допустимом 1,0.
4. На основе полученных результатов определен период истощения эксплуатационного ресурса мостового сооружения. Ресурс был исчерпан в период с 2004 по 2005 г.

## Литература

1. ДБН В.1.2-15:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи [Текст]. – Замість ДБН В.2.3-14:2006 (глава 2 та додатки Л, Д, Ж, П, К, Р, С); надано чинності 2010-03-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 84 с.
2. Лившиц, Я. Д. Примеры расчета железобетонных мостов [Текст] / Я. Д. Лившиц, М. М. Онищенко, А. А. Шкуратовский / К.: Вища школа, 1986. – 263 с.
3. ДБН В.2.3-26:2010 Споруди транспорту. Мости і труби. Сталеві конструкції. Правила проектування (Частина 1) [Текст]. – Замість ДБН В.2.3-14:2006 (глава 4, Приложения Х, Ц, Ю, Я, D, F); надано чинності 2011-10-01 – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 195 с.
4. ДБН В.2.3-26:2010 Споруди транспорту. Мости і труби. Сталеві конструкції. Правила проектування (Частина 2) [Текст]. – Замість ДБН В.2.3-14:2006 (глава 4, Приложения Х, Ц, Ю, Я, D, F); надано чинності 2011-10-01 – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 265 с.
5. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Замість ДБН В.2.3-14:2006; надано чинності 2010-03-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.
6. ДБН В.1.2-14:2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – Замість ГОСТ 27751-88; надано чинності 2009-12-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 26 с.
7. СН РК EN 1991-3 Нагрузки и воздействия на здания, снеговые нагрузки, ветровые воздействия [Текст]. – Взамен НТП РК 01-01-3.1(4.1)-2012; введ. 2017-12-20. – Астана: Комитет по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан, 2015. – 181 с.
8. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы [Текст]: актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*; введ. 2011-05-20. – М.: Минрегион России, 2011. – 341 с.
9. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – Замість ВБН В.3.1-218-174-2002; надано чинності 2010-03-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 295 с.
10. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування [Текст]. – Замість ДБН В.2.3-6-2002; надано чинності 2010-03-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 234 с.
11. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев: «Сталь», 2002. – 600 с.
12. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні [Текст] / А. В. Перельмутер, В. М. Гордеев, Є. В. Горохов

## Reference

1. DBN V.1.2-15:2009. Transport facilities. Bridges and pipes. Loads and Impacts [Text]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2009. 84 p. (in Ukraine)
2. Livshits, Ya. D.; Onishchenko, M. M.; Shkuratovsky, A. A. Examples of calculation of reinforced concrete bridges [Text]. Kyiv: Higher school. 1986. 263 p. (in Russian)
3. DBN V.2.3-26:2010. Transport facilities. Bridges and pipes. Steel structures. Design rules (Part 1) [Text]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2011. 195 p. (in Ukraine)
4. DBN V.2.3-26:2010. Transport facilities. Bridges and pipes. Steel structures. Design rules (Part 2) [Text]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2011. 265 p. (in Ukraine)
5. DBN V.2.3-22:2009 Bridges and pipes. Basic design requirements [Text]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2009. 73 p. (in Ukraine)
6. DBN V.1.2-14:2009. General principles for ensuring the reliability and structural safety of buildings, structures, structures and foundations [Text]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2009. 26 p. (in Ukraine)
7. СН РК EN 1991-3. Loads and impacts on buildings, snow loads, wind effects [Text]. Astana: Committee for Construction, Housing and Communal Services and Land Management of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan. 2015. 181 p. (in Russian)
8. SP 35.13330.2011. Bridges and pipes [Text]: updated version of SNiP 2.05.03-84\*. M.: Ministry of regional development, Russia. 2011. 341 p. (in Russian)
9. DSTU-N B V.2.3-23:2009. Guidance on the assessment and prediction of the technical condition of road bridges [Text]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2009. 295 p. (in Ukraine)
10. DBN V.2.3-6:2009. Transport facilities. Bridges and pipes. Examination and testing [Text]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2009. 234 p. (in Ukraine)
11. Perelmuter, A. V.; Slivker V. I. Design models of structures and the possibility of their analysis [Text]. Kyiv: "Steel", 2002. 600 p. (in Russian)
12. Perelmuter, A. V.; Gordeev, V. M.; Ye. V. Gorokhov, Ye. V. Condition and Residual Resource of Building Metal Structures Fund in Ukraine [Text]. Kyiv: "Steel". 2002. 166 p. (in Ukraine)
13. Livshits, Ya. D.; Onishchenko, M. M.; Shkuratovsky, A. A. Examples of calculation of reinforced concrete bridges [Text]. Kyiv: Higher school. 1986. 263 p. (in Russian)
14. Gibshman, Ye. Ye. Design of steel structures combined with reinforced concrete in road bridges [Text]. M.: Autotransmit. 1956. 231 p. (in Russian)
15. Chen, W.-F.; Duan, L. Bridge Engineering Reference guide [Text]. London, New York, Washington: CRC Press Boca Raton. 2000. 1600 p.

- та ін. ; за ред. д-ра техн. наук А. В. Перельмута. – К. : «Сталь», 2002. – 166 с.
13. Лившиц, Я. Д. Примеры расчета железобетонных мостов [Текст] / Я. Д. Лившиц, М. М. Онищенко, А. А. Шкуратовский. – К. : «Вища школа», 1986. – 263 с.
  14. Гишман, Е. Е. Проектирование стальных конструкций объединенных с железобетоном в автодорожных мостах [Текст] / Е. Е. Гишман. – М. : Автотрансиздат, 1956. – 231 с.
  15. Chen, W.-F. Bridge Engineering Handbook [Текст] / W.-F. Chen, L. Duan. – London, New York, Washington : CRC Press Boca Raton, 2000. – 1600 p.
  16. Hayward, A. Steel Bridges: a practical approach to design for efficient fabrication and construction [Текст] / A. Hayward, N. Sadler, D. Tordoff. – London : BCSA Publication, 2002. – 91 p.

**Миронов Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усталостная прочность металлических конструкций, концентрация напряжений в узлах ферм с применением широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций, в том числе трубобетонных конструкций

**Рыб Юлия Романовна** – магистрант, преподаватель-стажер кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: мостовые сооружения.

**Марченкова Юлия Александровна** – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: работа элементов балочных разрезных и неразрезных мостовых сооружений под нагрузкой.

**Танасогло Антон Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: эксплуатационная надежность и оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор. Изучение действительной работы металлических решетчатых конструкций башенного типа.

**Миронов Андрій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: втомна міцність металевих конструкцій, концентрація напружень в вузлах ферм із застосуванням широко полчкових двотаврів та гнutoзварних замкнених профілів, напружено-деформований стан сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

**Риб Юлія Романівна** – магістрант, викладач-стажист кафедри металевих конструкцій та споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: мостові споруди.

**Марченкова Юлія Олександрівна** – магістрант кафедри металевих конструкцій та споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: робота елементів балочних розрізних і нерозрізних мостових споруд під навантаженням.

**Танасогло Антон Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДОУ ВПО «Донбаської національної академії будівництва і архітектури». Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередавання і антенних опор, вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих конструкцій баштового типу.

**Mironov Andrey** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fatigue strength of metal structures, concentration of stresses in the nodes of trusses with the use of wide-band I-bars and roll-welded closed profiles, stress-strain state of steel reinforced concrete structures including pipe-concrete structures.

**Ryb Yulia** – Master's student, the teachertrainee Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: bridge structures.

**Marchenkova Yulia** – Master's student, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operation of elements of split and continuous bridge structures under load.

**Tanasoglo Anton** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operational reliability and optimal designing of overhead power transmission line and antenna support structures, studying of the valid work of metal lattice tower supports.