

УДК 681.3.06:69

**А. А. БАЛАКАЙ, М. В. ЦЫГАНОВ, Д. В. АЛЕЙНИК, Е. А. ДМИТРЕНКО**  
ГОО ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ЗАВИСИМОСТЬ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ НА ДЕЙСТВИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛЫ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ ПРОЕКЦИИ НАКЛОННОГО СЕЧЕНИЯ**

**Аннотация.** Данная статья посвящена уточнению расчетных параметров при определении несущей способности наклонных сечений изгибаемых элементов прямоугольного поперечного сечения. В статье рассмотрен представленный в действующих нормах расчет по наклонному сечению на действие поперечных сил, который основан на уравнении равновесия внешних и внутренних поперечных сил, действующих в наклонном сечении с длиной проекции «С» на продольную ось элемента. В процессе исследования было изучено изменение величины поперечной силы, воспринимаемой поперечной арматурой и бетоном, и несущей способности железобетонного образца в целом для различных размеров поперечного сечения в зависимости от длины проекции наклонной трещины. В работе представлен результат определения наиболее опасного расчетного случая в зависимости от длины проекции наклонной трещины.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, несущая способность, поперечное армирование, трещины, расчет.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одними из наиболее распространенных железобетонных конструкций являются изгибаемые элементы, такие как плиты и балки. Из плит и балок образуют чаще всего плоские перекрытия и покрытия, сборные и монолитные, а также сборно-монолитные [2]. Для изгибаемых конструкций должна быть обеспечена несущая способность как нормальных, так и наклонных сечений элементов.

При проектировании новых и выполнении поверочных расчетов существующих изгибаемых железобетонных элементов, согласно действующим нормам [8], прочность наклонных сечений определяется отдельно на действие поперечной силы и на действие изгибающего момента [8, 4, 5, 6]. Анализ, уточнение и совершенствование расчетных моделей при расчетах прочности наклонных сечений исследуется в работах ряда авторов [6, 7, 9, 10, 11].

При расчете наклонных сечений должны быть обеспечены прочность элемента по полосе между наклонными сечениями и наклонному сечению на действие поперечных сил, а также прочность по наклонному сечению на действие момента [8, 4, 5]. Прочность по наклонной полосе характеризуется максимальным значением поперечной силы, которое может быть воспринято наклонной полосой, находящейся под воздействием сжимающих усилий вдоль полосы и растягивающих усилий от поперечной арматуры, пересекающей наклонную полосу. При этом прочность бетона определяют по сопротивлению бетона осевому сжатию с учетом влияния сложного напряженного состояния в наклонной полосе.

Расчет по наклонному сечению на действие поперечных сил производят на основе уравнения равновесия внешних и внутренних поперечных сил, действующих в наклонном сечении с длиной проекции «С» на продольную ось элемента. Внутренние поперечные силы включают поперечную силу, воспринимаемую бетоном в наклонном сечении, и поперечную силу, воспринимаемую пересекающей наклонное сечение поперечной арматурой. При этом поперечные силы, воспринимаемые бетоном и поперечной арматурой, определяют по сопротивлениям бетона и поперечной арматуры растяжению с учетом длины проекции наклонного сечения.

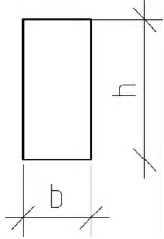
### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

– уточнение расчета прочности наклонного сечения в части определения наиболее невыгодных расчетных соотношений при вычислении наиболее невыгодной длины проекции наклонной трещины.

Для достижения указанных выше целей были решены следующие задачи:

- 1) выбор формы и соотношений размеров поперечного сечения образцов для исследования;
- 2) количественное определение составляющих параметров несущей способности наклонных сечений;
- 3) определение наиболее опасного расчетного случая в зависимости от длины проекции наклонной трещины.

*Краткая характеристика образца:*



**Рисунок 1** – Расчетный железобетонный образец.

Для расчета принимаем железобетонные образцы, различного поперечного сечения с соотношением сторон 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 (рис. 1). Ширину принимаем равной 300 мм, а высота варьируется в зависимости от расчетного случая от 300 мм до 1 200 мм (табл. 1).

**Таблица 1** – Размеры поперечного сечения железобетонного образца

b, мм	300	300	300	300
h, мм	300	600	900	1 200

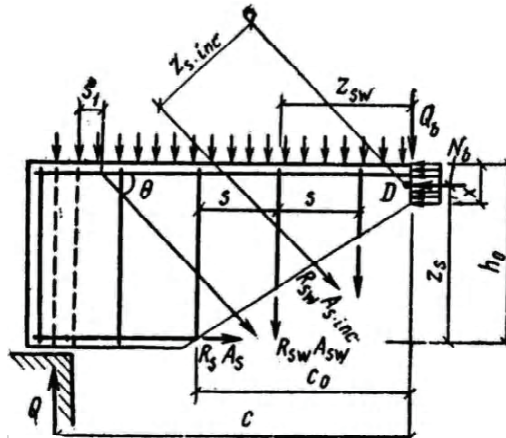
В качестве материала принимаем бетон класса В20 с расчетными характеристиками:

- расчетное сопротивление бетона сжатию  $R_b = 10,35$  МПа;
- расчетное сопротивление бетона растяжению  $R_{bt} = 0,81$  МПа;

Поперечную арматуру принимаем класса А-240 2Ø6 с площадью поперечного сечения  $A_{sw} = 0,57$  см<sup>2</sup>, шаг стержней  $S = 100$  мм:

- расчетное сопротивление растянутой поперечной арматуры  $R_{sw} = 175$  МПа.

**Методика расчета (рис. 2):**



**Рисунок 2** – Расчетная схема усилий в наклонном сечении.

*Расчет изгибаемых элементов по наклонному сечению производят из условия:*

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}$$

где  $Q$  – поперечная сила в наклонном сечении с длиной проекции  $C$  на продольную ось элемента ;

$Q_b$  – поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении;

$Q_{sw}$  – поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой в наклонном сечении.

*Определение поперечной силы, воспринимаемой бетоном:*

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{C}$$

где  $\varphi_{b2}$  – коэффициент, принимаемый равным 1,5;  
 $R_b$  – расчетное сопротивление бетона растяжению, МПа;  
 $b$  – ширина сечения элемента;  
 $h_0$  – рабочая высота сечения элемента;  
 $C$  – длина проекции наклонного сечения элемента.

Определение поперечной силы, воспринимаемой арматурой:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} \cdot q_{sw} \cdot C,$$

где  $\varphi_{sw}$  – коэффициент принимаемый равным 0,75;  
 $q_{sw}$  – усилия в поперечной арматуре на единицу длины элемента, равная:  
 $q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s_w};$   
 $R_{sw}$  – расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению;  
 $A_{sw}$  – площадь сечения хомутов;  
 $s_w$  – расстояние между хомутами, измеренное по длине элемента.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты численных исследований (таблицы 2–5, рис. 3) изменения как отдельных параметров, так и несущей способности наклонных сечений с поперечным армированием в целом, в зависимости от длины проекции наиболее опасного наклонного сечения для различных соотношений размеров прямоугольного поперечного сечения свидетельствуют, что:

- с увеличением длины наклонного сечения поперечная сила, воспринимаемая бетоном, линейно уменьшается в два раза;
- с увеличением длины наклонного сечения поперечная сила, воспринимаемая арматурой, линейно увеличивается в два раза;
- с увеличением длины проекции наклонного сечения снижение несущей способности составляет от 33 до 25 % при соотношениях размеров поперечного сечения 1:1 и 1:4, соответственно.

**1 расчетный случай.** Соотношение сторон  $b:h = 1:1$ . Ширина  $b = 300$  мм, высота  $h = 300$  мм. Результаты расчета сведены в таблицу 2.

**2 расчетный случай.** Соотношение сторон  $b:h = 1:2$ . Ширина  $b = 300$  мм, высота  $h = 600$  мм. Результаты расчета представлены в таблице 3.

**3 расчетный случай.** Соотношение сторон  $b:h = 1:3$ . Ширина  $b = 300$  мм, высота  $h = 900$  мм. Результаты расчета сведены в таблицу 4.

**4 расчетный случай.** Соотношение сторон  $b:h = 1:4$ . Ширина  $b = 300$  мм, высота  $h = 1200$  мм. Результаты расчета представлены в таблице 5.

Таблица 2 – 1 расчетный случай

$h_0$ , м	$k = c/h_0$	$C$ , м	$Q_b$ , кН	$Q_{sw}$ , кН	$Q$ , кН
0,26	1	0,26	94,77	19,45	114,22
	1,1	0,286	86,15	21,39	107,55
	1,2	0,312	78,97	23,34	102,31
	1,3	0,338	72,9	25,28	98,18
	1,4	0,364	67,69	27,23	94,92
	1,5	0,39	63,18	29,17	92,35
	1,6	0,416	59,23	31,12	90,35
	1,7	0,442	55,74	33,06	88,81
	1,8	0,468	52,65	35,01	87,66
	1,9	0,494	49,87	36,95	86,83

Таблица 3 – 2 расчетный случай

$h_0$ , м	$k = c/h_0$	$C$ , м	$Q_b$ , кН	$Q_{sw}$ , кН	$Q$ , кН
0,56	1	0,56	204,12	41,9	246,02
	1,1	0,62	185,56	46,08	231,65
	1,2	0,67	170,1	50,2	220,37
	1,3	0,73	157,02	54,46	211,48
	1,4	0,78	145,8	58,65	204,45
	1,5	0,84	136,08	62,84	198,92
	1,6	0,9	127,58	67,03	194,61
	1,7	0,95	120,07	71,22	191,29
	1,8	1,01	113,4	75,41	188,81
	1,9	1,06	107,43	79,6	187,03

Таблица 4 – 3 расчетный случай

$h_0$ , м	$k = c/h_0$	$C$ , м	$Q_b$ , кН	$Q_{sw}$ , кН	$Q$ , кН
0,86	1	0,86	313,47	64,34	377,81
	1,1	0,946	284,97	70,77	355,75
	1,2	1,032	261,23	77,21	338,43
	1,3	1,118	241,13	83,64	324,77
	1,4	1,204	223,91	90,07	313,98
	1,5	1,29	208,98	96,51	305,49
	1,6	1,376	195,92	102,9	298,86
	1,7	1,462	184,39	109,4	293,77
	1,8	1,548	174,15	115,8	289,96
	1,9	1,634	164,98	122,2	287,23

Таблица 5 – 4 расчетный случай

$h_0$ , м	$k = c/h_0$	$C$ , м	$Q_b$ , кН	$Q_{sw}$ , кН	$Q$ , кН
1,16	1	1,16	422,82	86,78	509,6
	1,1	1,276	384,38	95,46	479,84
	1,2	1,392	352,35	104,1	456,49
	1,3	1,508	325,25	112,8	438,06
	1,4	1,624	302,01	121,5	423,51
	1,5	1,74	281,88	130,2	412,05
	1,6	1,856	264,26	138,9	403,11
	1,7	1,972	248,72	147,5	396,25
	1,8	2,088	234,9	156,2	391,11
	1,9	2,204	222,54	164,9	387,42

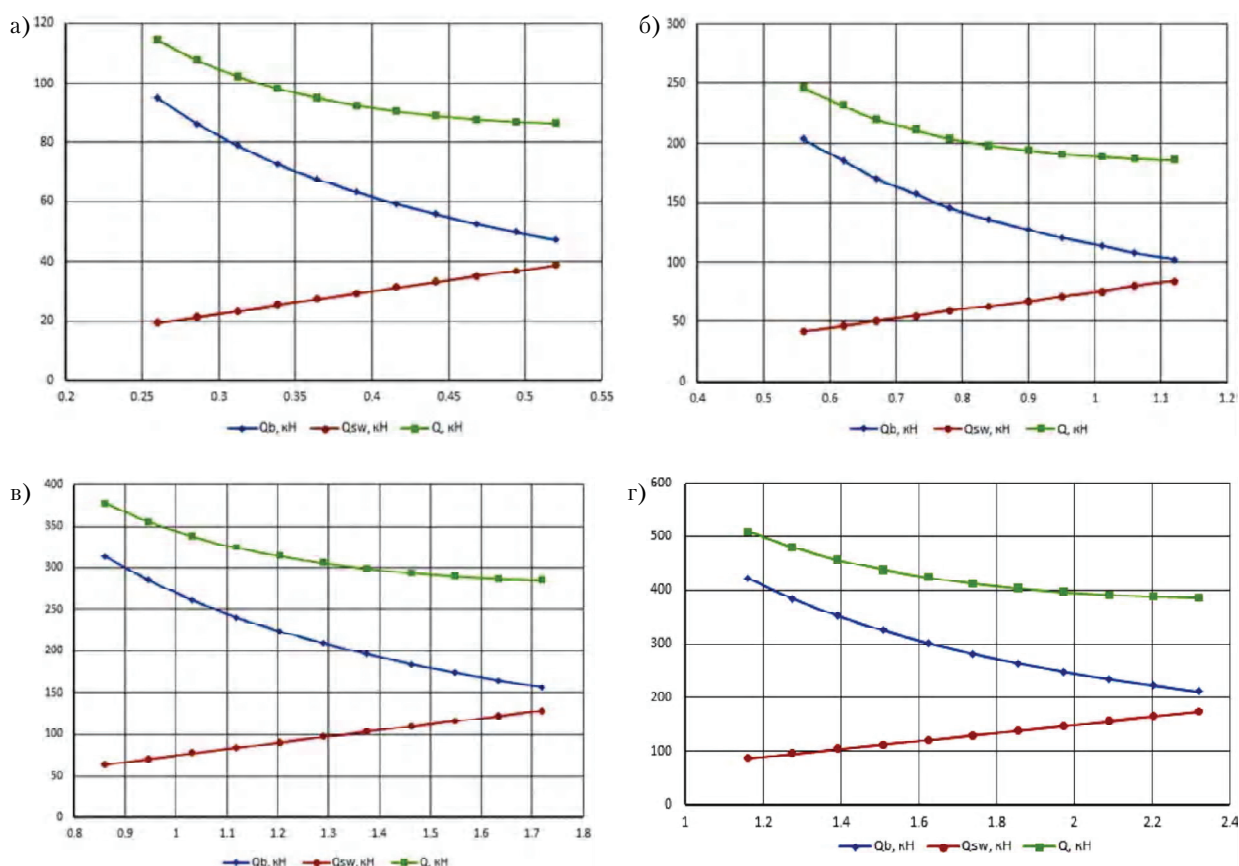


Рисунок 3 – Изменение несущей способности от длины проекции наклонного сечения элемента для расчетного случая: а)  $b:h = 1:1$ ; б)  $b:h = 1:2$ ; в)  $b:h = 1:3$ ; г)  $b:h = 1:4$ .

### ВЫВОДЫ

1. Несущая способность бетона и арматуры вне зависимости от соотношения размеров поперечного сечения уменьшается и увеличивается линейно пропорционально: поперечная сила, воспринимаемая бетоном, уменьшается в 2 раза, а поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой, увеличивается в 2 раза.
2. С увеличением длины наклонного сечения несущая способность железобетонного элемента во всех случаях расчета уменьшается на 25 %.
3. Приведенные результаты численного исследования прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного поперечного сечения без предварительного напряжения

на действие поперечной силы позволяют рекомендовать в качестве наиболее невыгодного расчетного случая длину проекции наклонной трещины в виде соотношения  $c=2 \cdot h_0$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ расчетных моделей при расчете прочности наклонных сечений железобетонных балок на действие поперечных сил [Электронный ресурс] / В. Б. Филатов, А. С. Арцыбасов, М. А. Багаутдинов [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – № 4-3. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-raschetnyh-modeley-pri-raschete-prochnosti-naklonnyh-secheniy-zhelezobetonnyh-balok-na-deystvie-poperechnyh-sil>.
2. Байков, В. Н. Железобетонные конструкции: Общий курс [Текст] : учеб. для вузов / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов ; 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1991. – 767 с.: ил. Репринтное переиздание ООО «БАСТЕТ», 2009. – 766 с.
3. Евстифеев, В. Г. Железобетонные и каменные конструкции [Текст] : в 2 частях. Часть 1. Железобетонные конструкции / В. Г. Евстифеев. – М. : Academia, 2011. – 430 с.
4. Расчет железобетонных конструкций без предварительного напряжения [Текст] : методическое пособие к СП 63.13330 / Под ред. Н. Н. Трекина. – М.: НИИСФ РАССН, 2015. – 283 с.
5. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003) [Текст] / ЦНИИ Промзданий, НИИЖБ. – М. : ОАО ЦНИИ Промзданий. – 2005. – 214 с.
6. Семенов, Д. А. Эволюция нормативного подхода к расчету железобетонных элементов [Электронный ресурс] / Д. А. Семенов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – № 5. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-normativnogo-podhoda-k-raschetu-zhelezobetonnyh-elementov>.
7. Силантьев, А. С. Прочность изгибаемых железобетонных элементов без хомутов по наклонным сечениям с учетом параметров продольного армирования [Электронный ресурс] / А. С. Силантьев // Вестник МГСУ. – 2011. – № 2–1. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/prochnost-izgibaemyh-zhelezobetonnyh-elementov-bez-homutov-po-naklonnym-secheniyam-s-uchetom-parametrov-prodolnogo-armirovaniya-1>.
8. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. [Текст] : актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 ; введ. 2019-01-01. – М. : Минрегион России, 2018. – 152 с.
9. Старишко, И. Н. Результаты экспериментальных исследований влияния основных факторов на несущую способность по наклонным сечениям в изгибаемых железобетонных балках прямоугольного и таврового профиля [Электронный ресурс] И. Н. Старишко // Вестник МГСУ. – 2016. – № 7. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-eksperimentalnyh-issledovaniy-vliyaniya-osnovnyh-faktorov-na-nesuschuyu-sposobnost-po-naklonnym-secheniyam-v-izgibaemyh>.
10. Филатов, В. Б. Расчетная модель наклонного сечения изгибаемого железобетонного элемента без поперечной арматуры [Электронный ресурс] В. Б. Филатов, Е. В. Блинкова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – № 6–2. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/raschetnaya-model-naklonnogo-secheniya-izgibaemogo-zhelezobetonnogo-elementa-bez-poperechnoy-armatury>.
11. Чумичёва, М. М. Прочность железобетонных элементов [Электронный ресурс] / М. М. Чумичёва // Природообустройство. – 2009. – № 2. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/prochnost-zhelezobetonnyh-elementov>.

Получена 07.05.2020

О. А. БАЛАКАЙ, М. В. ЦИГАНОВ, Д. В. АЛЕЙНИК, Е. А. ДМИТРЕНКО  
 ЗАЛЕЖНІСТЬ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗІВ НА ДІЮ  
 ПОПЕРЕЧНОЇ СИЛИ ВІД ЗМІНИ ДОВЖИНИ ПРОЕКЦІЇ ПОХИЛОГО  
 ПЕРЕРІЗУ  
 ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Дана стаття присвячена уточненню розрахункових параметрів при визначенні несучої здатності похилих перерізів згинальних елементів прямокутного поперечного перерізу. У статті розглянуто поданий в діючих нормах розрахунок по похилому перерізі на дію поперечних сил, який заснований на рівнянні рівноваги зовнішніх і внутрішніх поперечних сил, що діють в похилому перерізі з довжиною проекції «С» на поздовжню вісь елемента. У процесі дослідження було вивчено зміну величини поперечної сили, яка сприймається поперечною арматурою і бетоном, і несучої здатності залізобетонного зразка в цілому для різних розмірів поперечного перерізу залежно від довжини проекції похилої тріщини. У роботі представлено результат визначення найбільш небезпечного розрахункового випадку залежно від довжини тріщини.

**Ключові слова:** залізобетонні конструкції, несуча здатність, поперечне армування, тріщини, розрахунок.

ALEXANDER BALAKAY, MAXIM TSYGANOV, DMITRY ALEYNIK,  
EVGENIY DMITRENKO  
THE DEPENDENCE OF THE BEARING CAPACITY OF INCLINED SECTIONS  
ON THE ACTION OF THE SHEAR FORCE ON THE CHANGE IN THE LENGTH  
OF THE PROJECTION OF THE INCLINED SECTION  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** This article is devoted to the refinement of design parameters in determining the bearing capacity of inclined sections of bent elements of rectangular cross section. The calculation of the inclined section on the action of transverse forces presented in the current standards, which is based on the equilibrium equation of the external and internal transverse forces acting in an inclined section with the projection length «С» on the longitudinal axis of the element are considered in this article. The changes in the shear force perceived by transverse reinforcement and concrete and the bearing capacity of a reinforced concrete sample, in general, for different sizes of the cross section depending on the length of the projection of the inclined crack are studied in this paper. The results of determining the most dangerous design case, depending on the projection length of the inclined crack are presented in this paper.

**Key words:** reinforced concrete structures, bearing capacity, transverse reinforcement, cracks, calculation.

**Балакай Александр Андреевич** – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Цыганов Максим Вадимович** – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Алейник Дмитрий Викторович** – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Дмитренко Евгений Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Балакай Олександр Андрійович** – студент ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка технічного стану та проектування залізобетонних конструкцій

**Циганов Максим Вадимович** – студент ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка технічного стану та проектування залізобетонних конструкцій.

**Алейник Дмитро Вікторович** – студент ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка технічного стану та проектування залізобетонних конструкцій.

**Дмитренко Євген Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток методик визначення характеристик напружено-деформованого стану залізобетонних елементів при складних режимах силового і температурного впливів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

**Balakay Alexander** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

**Tsyganov Maxim** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

**Aleynik Dmitry** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

**Dmitrenko Evgeniy** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.