



ДУВАНСКИЙ АЛЕКСЕЙ ВІКТОРОВИЧ

Научный сотрудник научно-исследовательского отдела зданий и подземных сооружений в сложных геотехнических условиях ДП «Донецкий Промстройнинпроект», аспирант Государственного научно-исследовательский института строительных конструкций.

Основные направления научной деятельности: механика подземных сооружений, строительные конструкции зданий и сооружений в сложных геотехнических условиях.

Автор 10 научных трудов.
E-mail: gir.dptm@mail.ru



МАЛИКОВ СЕРГЕЙ СТАНІСЛАВОВИЧ

Аспирант, ассистент кафедры «Інженерная геодезия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры; инженер I категории ДП «Донецкий Промстройнинпроект».

Основные направления научной деятельности: деформационный мониторинг уникальных сооружений, исследование земельного законодательства Украины и других стран, оценка недвижимости и бизнеса.

Автор нескольких научных трудов.
E-mail: malikov_s_s@mail.ru



ГУНЬКО ВАДІМ ІВАНОВИЧ

Технический директор ООО «Донбасс Арена». Автор ряда научных работ.
E-mail: v.gunko@donbass-arena.ua

УДК 528.48

УСТАНОВЛЕННЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КРИТЕРІЕВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯННЯ ФУТБОЛЬНОГО СТАДІОНА «ДОНБАСС АРЕНА», УКРАЇНА

Ключевые слова: техническое состояние, геодезический мониторинг, критерии докритические и критические, тектонические нарушения, «Коксовый» и «Французский» надвиги.

Стаття присвячена розрахунково-аналітичному аналізу можливого впливу тектонічних порушень на технічний стан об'єкту, де виконується комплекс геодезичних вимірювань.

Стаття посвящена расчетно-аналитическому анализу возможного влияния тектонических нарушений на техническое состояние объекта, где выполняется комплекс геодезических измерений.

The article is devoted to the calculation-analytical analysis of the potential influence of the tectonic dislocations on the technical condition of the object, where the complex of geodetic measurements is performed.

Постановка задачи

Цель выполнения работы – установить геодезические критерии для контроля работы консольных опорных ферм покрытия, ядер жесткости и опорных колонн каркаса.

По существу речь идет об определении степени возможного влияния тектонических нарушений под чашей стадиона «Донбасс Аrena» на конструктивную целостность исследуемого отсека NA, а также выявлении докритических и критических перемещений, устанавливаемых геодезическими методами [1].

Проведение численных исследований отсека NA предопределено его местоположением непосредственно в зонах «Коксового» и «Французского» надвигов и апофизы последнего (рис. 1,2).

Здесь возможные деформации грунтового массива от подработок дополняются деформациями от тектонических нарушений, что может привести к их значительному влиянию на несущую способность фундаментов, каркаса и покрытия отсека.

Конструктивные решения отсека NA

Отсек NA имеет характерную схему, присущую всем другим отсекам стадиона (рис. 1,2,3). Каркас отсека по всей высоте отрезан от других отсеков стадиона деформационными швами $\delta=100\text{мм}$, в связи с чем напряженно-деформированное состояние конструкций отсека независимо от смежных отсеков и имеет собственный характер, обусловленный конструктивными и нагрузочными параметрами.

Фундамент в конструктивном отношении разделен на три отдельные плиты. Плиты в осях N14...N15 и N19...W01 выполнены толщиной 2м, плита в осях N16...N18 – толщиной 1,5м. Фундамент отсека расположен на армированной подготовке толщиной $\delta=150\text{мм}$.

В конструктивном отношении основными несущими элементами каркаса являются: многоэтажные радиальные рамы, воспринимающие нагрузки от наклонных террас для зрительских мест; междуэтажные перекрытия; встроенные подтрибуные помещения. Трибуны формируются наклонными балками каркаса. Устойчивость в пределах отсека обеспечивается железобетонными ядрами жесткости, в которых располагаются лестничные клетки. Ядра жесткости расположены в осях N14...N15 и N19...W01. На отметке +24,800 к ядрам жесткости крепятся несущие фермы покрытия ST2 и WT2.

Учитывая сложность конструктивной схемы отсека и прохождение тектонических разрывов на конкретном участке отсека, целесообразно для дальнейших численных исследований выбрать фрагмент отсека, непосредственно расположенный на апофизе «Французского» надвига в осях N14...N15 и R07...R05 (см. рис 2,3), включающий фундамент с ядром жесткости и колоннами, а также ферму покрытия.

Анализ геологического строения грунтового массива в пределах отсека NA

Геологическая структура в пределах отсека NA представлена угленосными отложениями, покрытыми элювиальными и эолово-делювиальными грунтами чет-

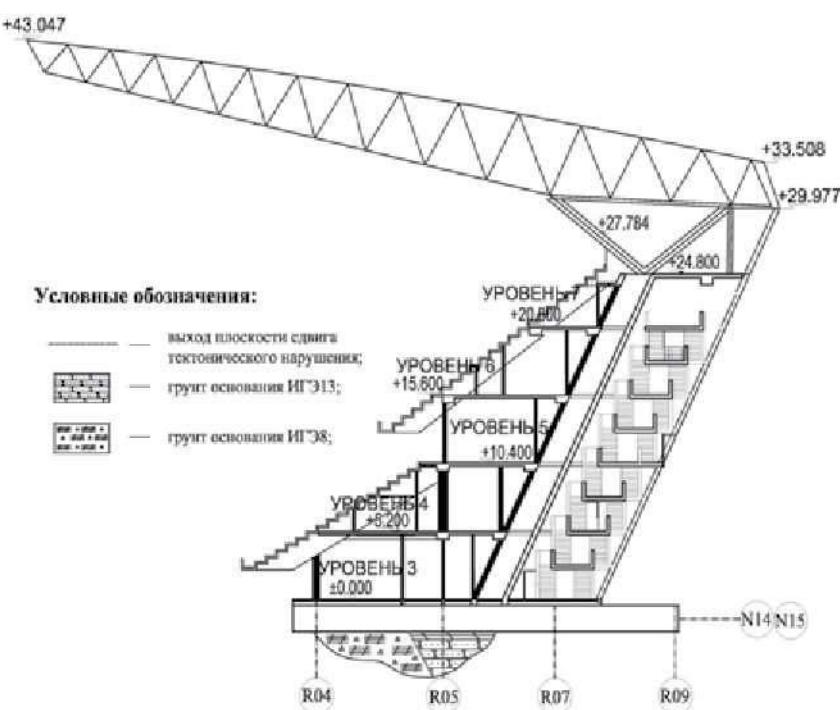


Рис. 3. Разрез 1-1 фрагмента отсека NA в осях N14-N15.

вертичного периода и современными отложениями. Основанием под фундаменты являются грунты: аргиллиты и алевролиты (ИГР-7), песчаник и аргиллит с прослойком алевролита (ИГР-8), принадлежащего зоне фрагмента угленосных пород. На глубине 18-23м на всем участке находится слой полущебенистых грунтов – аргиллита и песчаника, глубже переходящий в горные породы. Исходя из физико-механических свойств грунтов и глубины заложения подошвы фундамента основанием отсека NA приняты слои ИГР-8 (модуль упругости $E=40\text{МПа}$) в левом крыле и ИГР-11 (модуль упругости $E=100\text{МПа}$) в правом крыле (рис. 4).

Основным негативным фактором, установленным по литологическому разрезу, являются разрывы, ответвляющиеся от смесятеля «Французского» надвига. Такие разрывы являются продуктом тектонических полей напряжений, образованных при давнем формировании массива, а также продолжающихся тектонических движений [2].

На рис. 4 можно отметить, что мощный разрыв, расположенный в массиве под фрагментом отсека NA, условно делит его на два крыла. При этом можно отметить, что правое крыло имеет более жесткое сложение за счет преобладающих в нем скальных грунтов. Левое крыло менее жесткое, так как сложено щебенистыми и полускальными грунтами. Учитывая изменение отметок рельефа с увеличением их величин в правом крыле и уменьшением в левом, можно прогнозировать в дальнейшем уже происходящее и преобладающее оседание левого крыла во времени.

Отмеченные характеристики массива, составляющие оба крыла, приводят к выводу о том, что существующие тектонические поля напряжений в пределах фрагмента отсека NA в дальнейшем могут провоцировать нарастание деформаций.

Для установления более полного влияния указанных процессов на конструкции отсека целесообразны иссле-

Смотри рисунки 1, 2, на стр. 3 обложки

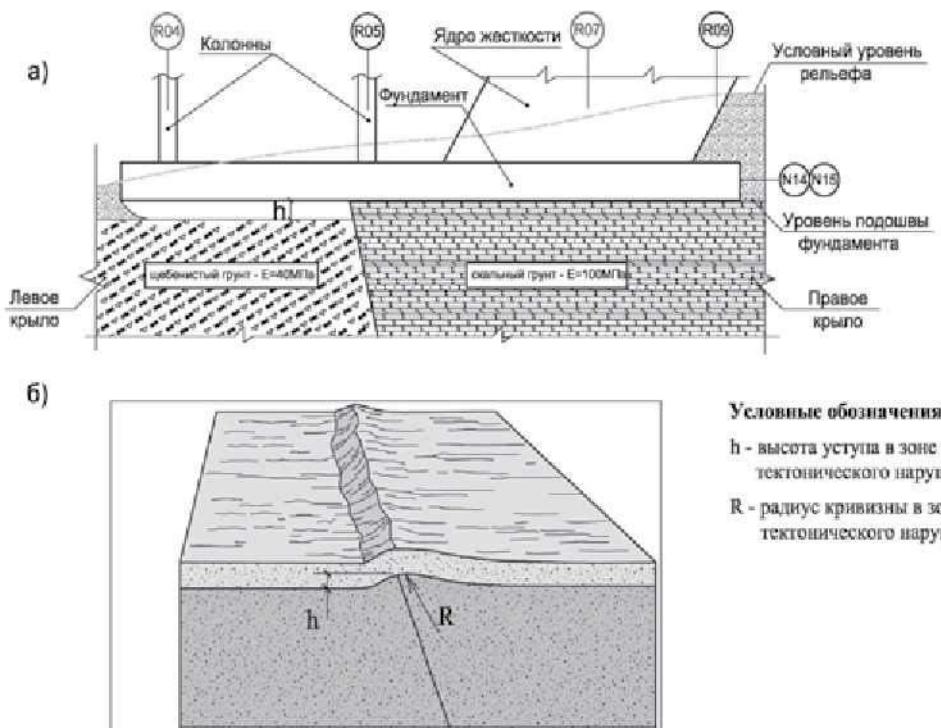


Рис. 4. Положение тектонического нарушения под фундаментом фрагмента отсека NA

дования на пространственных моделях «основание-фундамент-каркас-покрытие» с точным воспроизведением сложившихся в основании условий. Однако, такие модели предполагают наличие передовых инженерных программных комплексов, несертифицированных в Украине, что значительно усложняет решение поставленной задачи. Упрощение процесса исследований без потери качества результатов лежит на пути установления параметров деформаций земной поверхности, соответствующих тектоническим полям напряжений. Это дает возможность посредством заданных на фрагмент отсека величин деформаций, установить возможное влияние тектонических процессов на отдельные конструкции.

Наиболее вероятными являются неравномерные деформации основания под фундаментом. Проявление уступа полностью зависит от взаимосвязи деформаций и напряжений во времени, когда горные породы и грунты длительно находятся под высоким напряжением. Очевидно, разница в осадках между частью фундамента на щебенистом основании и частью фундамента на скальном основании будет нарастать.

Представленный процесс образования уступа довольно условный. Однако, такая условность является наиболее подходящей. Действительное образование уступа в месте выхода смесятеля на поверхность характеризуется проявлением радиуса кривизны R малой величины (см. рис. 4).

С учетом такого процесса развития деформаций, разработана модель отсека с созданием адекватных условий образования деформаций основания, максимально приближенных к реальным.

Комплексная расчетная схема фрагмента отсека NA

Расчетная схема фрагмента отсека NA (рис. 5) выполнена в программном комплексе SCAD 11.3, который имеет теоретическую основу метода конечных элементов (МКЭ) в форме метода перемещений.

В сборе нагрузок были учтены все влияния окружающей среды и оценено взаимовлияние отдельного фрагмента отсека посредством расстановки соответствующих связей, формирующих граничные условия. Учтено также, что тектонические нагрузки носят эпизодический характер [3].

Практически все нагрузки (сверху-вниз) представляют силовую форму задачи. Отдельное значение имеют тектонические воздействия (снизу-вверх), которые задаются кинематическим способом путем постепенного исключения опорных связей под подошвой фундамента.

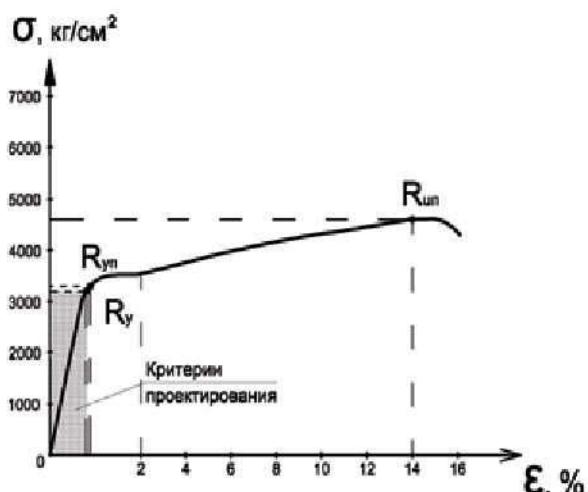
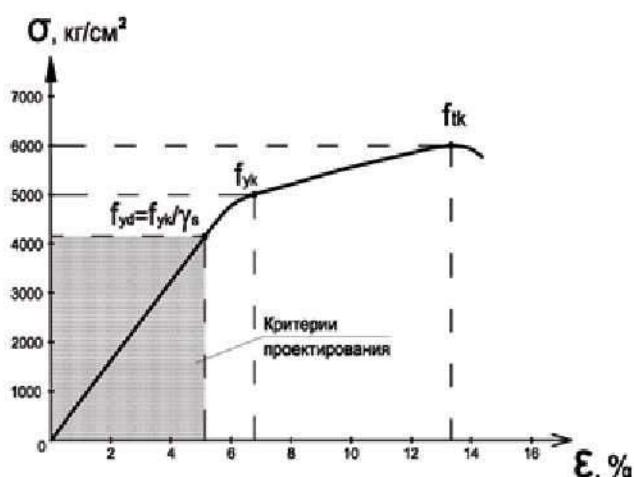


Рис. 6. Диаграмма стали С345

Показатели стали С345 по диаграмме

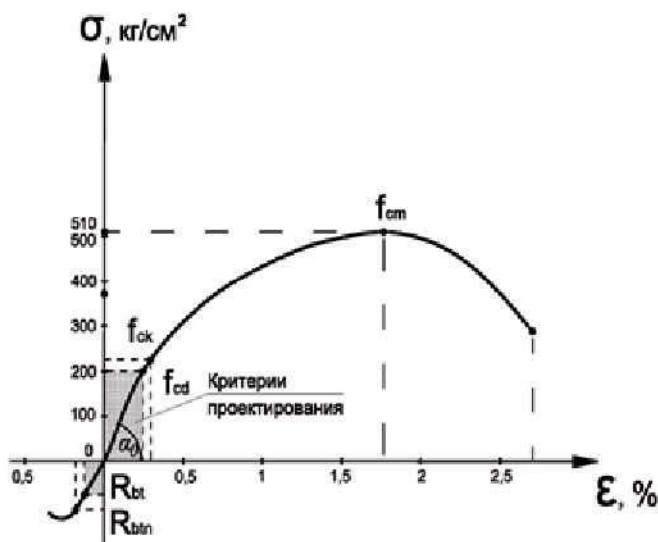
Критерии	Напряжения, кг/см ²	
	Обозначение	Значение
Проектирования	R_y	3000
Докритический	R_{uy}	3050
Критический	R_{ue}	4500



Показатели арматурной стали класса А500С по диаграмме

Критерий	Напряжения, кг/см ² :	
	Обозначение	Значение
Проектирования	f_{yd}	4150
Докритический	f_{yk}	5000
Критический	f_{tk}	6000

Рис. 7. Диаграмма арматурной стали класса А500С



Показатели бетона класса В40 по диаграмме

Критерий	Напряжения, кг/см ² :	
	Обозначение	Значение
Сжатие		
Проектирования	f_{cd}	204
Докритический	f_{ck}	224
Критический	f_{cm}	510
Растяжение		
Докритический	R_{bt}	12,7
Критический	R_{btm}	14,3

Рис. 8. Диаграмма бетона класса В40

Учитывая тот факт, что отсек НА выполнен из железобетонных и металлических конструкций, необходимо рассматривать возможную их работу в различном напряженно-деформированном состоянии вплоть до предельной стадии, при которой конструкции перестают удовлетворять эксплуатационным требованиям, то есть теряют способность сопротивляться действующим нагрузкам и воздействиям, получают недопустимые перемещения или местные повреждения [4], [5].

По аналогии с работой [6] приняты диаграммы материалов: стали класса С345 (покрытие) по рис. 6; арматурной стали класса А500С (каркас, фундамент) по рис. 7; бетона класса В40 (каркас, фундамент) по рис. 8. Критерии по материалам позволяют проводить конкретную аналитику влияния сложившихся в основании тектонических воздействий на напряженно-деформированное состояние конструкций фрагмента отсека.

Тектонические воздействия носят исследовательский варьируемый характер и задаются поэтапно с учетом условий, показанных на рис. 9.

При действии различных комбинаций нагрузок и воздействий деформации элементов фермы покрытия более значительны, чем деформации элементов железобетонного каркаса. Это связано с различной жесткостью конструкций.

Методика численных исследований

Расчетами определяются геодезические критерии работы элементов каркаса и покрытия с ориентиром на критерии предельных состояний по материалам (см. рис. 6,7,8).

Расчет модели на основное сочетание нагрузок [3] показал, что модель подвержена значительным деформациям и значительным увеличениям величин напряжений в конструкциях, при направлении общего вектора нагрузочных воздействий в сторону центра стадиона.

Влияние тектонического нарушения определяется путем изменения условий работы основания [7,8], при этом исходный коэффициент жесткости левого крыла [9] поэтапно снижается от $C_z^L = 15300 \text{ кН} / \text{м}^3$ до $C_z^L = 0$ (см. рис. 9), а коэффициент правого крыла остается постоянным $C_z^R = 15300 \text{ кН} / \text{м}^3$.

При основном сочетании нагрузок в левом и правом крыльях основания – $C_z^L = C_z^R$. Далее:

- на этапе II – $C_z^L = 3/4 C_z^R$;
- на этапе III – $C_z^L = 1/2 C_z^R$;
- на этапе IV – $C_z^L = 1/4 C_z^R$;
- на этапе V – $C_z^L = 0$, то есть моделируется уступ, сопровождаемый консолированием фундаментной плиты.

Результаты зависят также от снеговой нагрузки, которая значительно дрогирует конструкции отсека и соответственно вызывает максимальные значения напряжений и деформаций в элементах (рис. 10,11).

Результаты численных исследований по приведенной методике позволяют установить геодезические величины деформаций ядра жесткости по верхним точкам и покрытия, а также связать эти величин с

Смотри рисунки 9, 10, 11 на стр. 3 обложки

Таблица 1. Значення напружень та деформацій при різних соотношеннях коєфіцієнтів жесткості основання без урахування снегової навантаження на покритті

Обозначения	Численные выражения показателей по этапам расчета				
	I	II	III	IV	V
$C_z^{\text{л}} / C_z^{\text{п}}$	1	0,75	0,5	0,25	0
$\Delta s = s_2 - s_1 $, мм	2	4	8	19	61
σ_p^ϕ , кгс/см ²	+894	+898	+910	+942	+1005
σ_p^δ , кгс/см ²	-7,9	-5,2	-4,6	+8,36	0
σ_p^a , кгс/см ²	+1755	+1777	+1795	+22,2	+94,1
h_3 , мм	-8	-11	-16	-27	-108
h_4 , мм	-8	-10	-15	-25	-105

Таблица 2. Значення напружень та деформацій в конструкціях при різних соотношеннях коєфіцієнтів жесткості основання з урахуванням снегової навантаження на покритті

Обозначения	Численные выражения показателей по этапам расчета				
	I	II	III	IV	V
$C_z^{\text{л}} / C_z^{\text{п}}$	1	0,75	0,5	0,25	0
$\Delta s = s_2 - s_1 $, мм	3	7	14	29	76
σ_p^ϕ , кгс/см ²	+1788	+1796	+1817	+1884	+2012
σ_p^δ , кгс/см ²	-23,1	-19,6	-12,3	+12,1	0
σ_p^a , кгс/см ²	+2739	+2766	+2891	+15,96	+84,7
h_3 , мм	-9	-13	-19	-32	-126
h_4 , мм	-9	-12	-17	-29	-123

Примечания к таблицам 1,2: $C_z^{\text{л}} / C_z^{\text{п}}$ - соотношение жесткостей основания в пределах нарушения; Δs – разница осадок между максимально опущенной s_2 и максимально поднятой s_1 точками верхней части ядра жесткости R07,R09/N14,N15 (рис.10,11); σ_p^ϕ – напряжения в наиболее нагруженном элементе фермы; σ_p^δ , σ_p^a – напряжения в бетоне и арматуре наиболее нагруженного элемента каркаса; h_3 , h_4 – осадки колонн 3-го уровня R04/N14 и R04/N15 соответственно (рис.10,11).

- показатели, наблюдаемые по этапам расчета;

- показатели докритических критериев.

Таблица 3. Докритические деформации в каркасе без учета снеговой нагрузки на покрытии в результате геодезических измерений

Критерий	Ядро жесткости R07,R09/N14,N15 (отражательные марки N1 и N2 – рис. 5)	Колонны (реперы N14 и N15 – рис. 5)	
		R04/N14	R04/N15
Докритический	$\Delta s = S_2 - S_1 $, мм 19	h_3 , мм -27	h_4 , мм -25

напряженным состоянием элементов конструкций при различных соотношениях коэффициентов жесткости основания, моделирующих тектоническое воздействие [10].

Результаты численных исследований

Результаты перерасчетов по пяти этапам без учета снеговой нагрузки на покрытии сведены в таблицу 1, с учетом снеговой нагрузки – в таблицу 2.

В таблицах 1,2 в роли измеренных деформаций выступают разности осадок Δs крайних точек поверхности ядра жесткости s_1 и s_2 , а также осадки h_3 и h_4 в колоннах 3-го уровня. Эксплуатационное положение отсека контролируется при проявлении тектонических движений.

ВЫВОДЫ:

1. В случае активизации тектонических нарушений достижение докритических критериев по материалам, в первую очередь, произойдет в железобетонных конструкциях каркаса.
2. Возможная активность тектонического нарушения может привести к крену ядра жесткости фрагмента отсека NА. При этом произойдет перераспределение усилий в элементах конструкций.
3. В конструкции фермы покрытия перераспределение усилий в элементах не даст значений напряжений близких к критическим, но при исследованиях отмечен наиболее нагруженный элемент фермы

Таблиця 4. Докритическі деформації в каркасі з урахуванням снігової навантаження на покритті в результаті геодезичних вимірювань

Критерій	Ядро жесткості R07,R09/N14,N15 (отражательные марки N1 и N2 – рис. 5)	Колонни (реперы N14 и N15 – рис. 5)	
		R04/N14	R04/N15
Докритический	$\Delta s = S_2 - S_1 $, мм 29	h_3 , мм -32	h_4 , мм -29

HE500M (см. рис. 5).

4. Относительно железобетонных конструкций каркаса возможная активность тектонического нарушения может привести к консолидированию фундаментной плиты, что ведет к возникновению растягивающих усилий в конструкциях каркаса.
5. Из таблиц 1 и 2 видно, что постепенное увеличение уступа в основании приводит к разгрузению наклонных балок от сжимающих и изгибающих усилий до образования в них растягивающих усилий. На этапах IV и V в балках появляются растягивающие усилия. При этом наиболее нагруженной оказалась балка B202, в которой бетон работает на растяжение до полного исчерпания несущей способности, что соответствует критерию – R_{bin} .
6. На этапе IV значения напряжений в растянутом бетоне не превышают докритический критерий – R_{bp} и не превышают критический – R_{bcr} , тогда как на этапе V полученные напряжения превышают значение R_{bin} .
7. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что для контроля активизации тектонической

нарушений удобно использовать геодезические наблюдения наиболее опускаемой точки ядра жесткости – s_2 , и наименее опускаемой точки ядра жесткости – s_1 , а также величины оседания колонн h_3 и h_4 .

8. На этапе IV напряжения в конструкциях фермы покрытия и арматуре железобетонных конструкций малы по сравнению с докритическими, что подтверждает правильность выбора критерия.
9. В таблицах 3 и 4 приведены измеряемые деформации верхних точек ядра жесткости и колонн фрагмента отсека NA при докритических напряжениях по бетону в наиболее нагруженном элементе каркаса.
10. Пределами деформаций отсека в случае активизации тектонических процессов необходимо считать деформации, полученные на IV этапе, которые практически соответствуют докритическому критерию бетона при растяжении (см. рис. 8).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Численные исследования каркаса и покрытия фрагмента отсека НА на вынужденные перемещения, полученные в результате геотехнического и геодезического мониторингов». Этап I.2 Программы Договора. Приложение 1 / Шифр 2/01-13-ГМ.О/2013-П.1 // ДП «Донецкий ПромстройНИИпроект», Донецк, 2013.
2. Гавриленко Ю.Н. Исследование факторов, влияющих на деформации земной поверхности, при подработке разрывных нарушений пологими пластами. – Горно-металлургические проблемы Донбасса, №1. – 1995 – С.91-100.
3. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження та впливи / Норми проектування. – К.: Мінреіонбуд, 2006. – 60 с.
4. ДБН В.2.6-98: 2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення / Норми проектування. – К.: Мінреіонбуд, 2011. – 71 с.
5. ДБН В.2.6-163: 2010 Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу / Норми проектування. – К.: Мінреіонбуд, 2011. – 127 с.
6. Розенвассер Г.Р., Дуванский А.В., Гунько В.И., Установление критериев для раннего выявления чрезвычайных ситуаций на объекте футбольный стадион «Донбасс Арена», Украина. // Світ геотехніки. – Запоріжжя, 2013. – №1. – С. 4-9
7. Дуванский А.В. Концепция формирования тектонических напряжений, действующих на протяженные подземные сооружения закрытого способа работ // Світ геотехніки – Запоріжжя. – 2012. – № 2. – С.21-24.
8. Дуванский А.В. Определение влияния тектонических напряжений на тоннели глубокого заложения, расположенные в нарушенном массиве: Материалы международной научно-практической конференции. [Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития – 2012]; 2-12 октября 2012г. – Одесса: Куприенко – С.67-75.
9. ДБН В.1.1-5-2000, Ч.1, П «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах» // Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Украины. – Киев, 2006. – 84с.
10. Маликов С.С. Системный подход к исследованию деформаций уникальных спортивных сооружений геодезическими методами // Вісник ДонНАБА. Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва. – 2012. – Вип. 6 (98) – С.103-107.