DOI: 10.65322/j.srd.04182026.23

УДК. 624. 012. 41: 666. 973. 2. /575/

ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ВНЕЦЕНТРЕННО-СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ИЗ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Ризаев Боходир Шамситдинович, *к.т.н., проф.,*
E-mail: baxodir 1952 @ umail.uz
Наманганский государственный технический университет

Аннотация. *Ушбу мақола оғир бетондан тайёрланган номарказий сиқилган темир бетон устунларининг Узбекистан Республикасининг иқлим шароитида мустаҳкамлиги ва деформациясини назарий ва тажрибада ўрганишга бағишланган. Узбекистан Республикасининг иқлим шароити, қуруқ иссиқ иқлимли ҳудудга хосдир. Тажриба тадқиқотларни ўтказилиш услублари ишлаб чиқилган ва қуруқ иссиқ иқлимли шароитда номарказий сиқилган темир бетон элементларининг мустаҳкамлик ва деформация тавсифлари ўрганилган. Олиб борилган тадқиқотлар асосида, қуруқ иссиқ иқлим шароитда, ҳавонинг ҳарорати ва нисбий намлиги таъсирида, бетоннинг физик-механик хоссалари ўзгариши аниқланиб, уни ҳисобга олиш кераклиги кўрсатилган.*

Аннотация. *Эта статья посвящена теоретическому и экспериментальному изучению прочностных и деформативных характеристик внецентренно- сжатых железобетонных элементов из тяжелого бетона в природных условиях Республики Узбекистан. Природные условие Республики Узбекистан относится к региону сухого жаркого климата. Разработаны методики проведения экспериментальных исследований и изучены характер прочностных и деформативных свойств внецентренно- сжатых железобетонных элементов в условиях сухого жаркого климата. На основании проведенных исследований установлено: в условиях сухого жаркого климата от действия температуры и влажности воздуха изменяются физико-механические и деформативные свойства бетона, которые должны учитываться в расчетах.*

Abstracts. *This article is devoted to the theoretical and experimental study of the strength and deformation characteristics of eccentrically compressed reinforced concrete elements made of heavy concrete in the natural conditions of the Republic of Uzbekistan. The natural conditions of the Republic of Uzbekistan belong to the region of dry, hot climate. Methods for conducting experimental research have been developed and the nature of the strength and deformation properties of eccentrically compressed reinforced concrete elements under dry, hot climate conditions has been studied. Based on the research conducted, it has been established that in conditions of a dry, hot climate, the effect of air temperature and humidity changes the physical, mechanical and deformative properties of concrete, which must be taken into account in the calculations.*

Калит сўзлар: *иқлим шароитлари, нисбий намлик, қуёш радиацияси, бетон структураси, бетон деформацияси, ёриқбардошлик, термопара, ҳароратли қуриб чўкиш деформацияси, ёриқлар ҳосил бўлиш моменти, эксцентриситет, сиқилган қирра, ишлаш шароити коэффициенти, мустаҳкамлик, узоқ муддатли юкланиш, доимий режим, номарказий сиқилган темир бетон элемент, эластик-пластик ҳолат, пластик қуриб чўкиш, ёриқлар очилиш кенглиги.*

Ключевые слова: *климатические условия, относительная влажность, солнечная радиация, структуры бетона, деформация бетона, трещиностойкость, термопара, температурно-усадочные деформации, момент образования трещин, эксцентриситет, сжатый грань, коэффициенты условия работы, прочность, длительная нагружения, постоянный режим, внецентренно-сжатый железобетонный элемент,*

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.23

упругопластическое состояние, пластическая усадка, ширина раскрытия трещин.

Key words: *climatic conditions, relative humidity, solar radiation, concrete structures, concrete deformation, crack resistance, thermocouple, temperature-shrinkage deformation, moment of crack formation, eccentricity, compressed face, operating condition coefficients, strength, long-term loading, constant mode, eccentric- compressed reinforced concrete element, elastic-plastic state, plastic shrinkage, crack width.*

Введение. Дальнейшее развитие капитального строительства в Республике Узбекистан предусматривает увеличение объемов производства и применения сборного и частично монолитного железобетона. Климатические условия Республики Узбекистан отличаются резкой континентальностью.

В летний период температура воздуха может превышать $+40^0$ С, при этом относительная влажность падает до 10-15 % и ниже. В таких климатических условиях от прямого попадания солнечной радиации поверхность железобетонных и бетонных конструкций нагревается до $70\text{-}80^0$ С. При этом появляются значительные деформации усадки бетона, приводящие к образованию и раскрытию трещин на поверхности железобетонных и бетонных конструкций.

Колебания температуры и влажности воздуха в течении суток и сезона года (лето и зима) неблагоприятно влияют на формирование структуры бетона [1,2]. Интенсивное обезвоживание бетона при повышенной температуре и низкой относительной влажности среды приводит к снижению его прочности и модуля упругости. Большой суточный перепад температуры вызывает неравномерное распределение температурных напряжений по сечениям бетона [3,4].

Проектирование и строительство железобетонных конструкций для сухого жаркого климата без учета деформаций, усилий, вызванных изменением повышенной температуры и пониженной влажности приводит к раннему образованию трещин в бетоне, черезмерному их раскрытию, а также к большими деформациям конструкции.

Одним из самых важных факторов повышения надежности и долговечности конструкций зданий и сооружений, особенно для Республики Узбекистан, является дальнейшее совершенствование методов их расчета с учетом реальных условий эксплуатации [5,6].

В связи с этим актуальной задачей является проведение экспериментально теоретических исследований прочности и трещиностойкости внецентренно сжатых железобетонных элементов из тяжелого бетона под воздействием силовых факторов и неблагоприятных влияний условий сухого жаркого климата.

Методика испытаний. Для изучения работы внецентренно-сжатых железобетонных элементов были изготовлены опытные колонны прямоугольного сечения размерами 16х30 см и высотой 100 см, которые имели консоли. Все колонны имели симметричное армирование 4 стержнями диаметром 14 мм, класса А-III. Для исключения преждевременного разрушения колонн оголовки армировались тремя рядами арматурных сеток из стали класса А-I диаметром 6 мм.

Размер ячейки сеток принимался 45х45 мм. Дополнительно верхняя и нижняя грани колонн имели стальные пластины толщиной 17 мм, которые приваривались к рабочим стержням во время изготовления каркасов. Для фиксации положения арматуры в опалубке при бетонировании на арматурные каркасы крепили специальные пластмассовые шайбы, обеспечивающие защитный слой бетона 25 мм. Для замера деформаций растянутой арматуры к ней приваривались металлические штыри диаметром 12–14 мм на базе 250 мм.

Для замера деформаций бетона в сжатой и растянутой зоне с двух сторон колонны на базе 250 мм по высоте сечения устанавливались штыри диаметром 6мм и высотой 50 ...

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.23

60 мм. Расстояние между двумя штырями меряли переносным индикатором. С целью изучения распределения температуры в бетоне по сечению колонн в условиях сухого жаркого климата в колоннах закладывались хромель-копелевые термопары.

Одновременно изготавливались кубики размером 10x10x10 см и призмы 10x10x40 см.

Образцы бетонировались в горизонтальном положении в металлических формах. Бетонной смесью заполняли форму и уплотняли на вибростоле в течение 60 секунд. Избыток смеси срезался, а поверхность заглаживалась мастерком. Образцы изготавливались в июле месяце, когда наблюдались среднесуточные перепады температур воздуха до 20 ℃ и относительной влажности до 20 % [7,8].

В этот период температура воздуха достигала 36 ℃ , а относительная влажность снижалась до 17 %. Все колонны после бетонирования в течение 7 дней находились в опалубке под влажными опилками, а затем распалубливались. Образцы колонн изготавливались в трех сериях. Образцы первой серии находились под воздействием прямой солнечной радиации для определения изменения температуры по сечению элемента. Образцы первой серии находились на полигоне в ненагруженном состоянии для определения температурно-усадочных деформаций колонн. Для определения влияния прямой солнечной радиации одна часть опытных колонн устанавливалась на полигоне. Часть образцов второй серии были защищены от прямой солнечной радиации. Эти образцы находились в условиях цеха.

Другая часть образцов находилась под воздействием прямой солнечной радиации на открытом воздухе. Колонны второй серии были испытаны кратковременной нагрузкой с разным эксцентриситетом ее приложения в возрасте 40-50 дней. Колонны III серии были загружены длительно-действующей нагрузкой 0,8 N_{CRC} и 0,5N_p, которые находились на открытом воздухе в течение 1 года, а затем были разрушены кратковременной нагрузкой для того, чтобы определить, как влияет прямая солнечная радиация на прочность и трещиностойкость колонн [9,10].

Результаты исследований. По результатам кратковременных испытаний с e= 0,5Y=7,5 см и e= Y=15 см было установлено, что с образованием трещин в растянутой зоне, интенсивность увеличения деформаций растянутой арматуры, а также сжатого бетона возрастает. Условия сухого жаркого климата также влияют на относительные деформации арматуры. В колоннах, находившихся под нагрузкой 0,8 N_{CRC} и 0,5N_p и под влиянием солнечной радиации были больше на 13–40%, чем в колоннах, находившихся в цеху.

Относительные деформации крайнего сжатого волокна бетона в колоннах, находившихся под влиянием солнечной радиации (при нагрузке 0,5N_p) увеличились на 35–60% по сравнению с деформациями бетона при кратковременной нагрузке в возрасте 40 суток. В условиях сухого жаркого климата с увеличением эксцентриситета деформативность бетона и арматуры повышается [11,12].

В ненагруженных колоннах, находящихся под воздействием солнечной радиации в течение 12 месяцев, трещины не появлялись. При кратковременном нагружении этих колонн трещины образовались при нагрузке 52,9–53,6 кн.

Этот момент образования трещин был меньше, чем для колонн, находящихся при постоянном режиме в среднем на 19%.

В колоннах, подвергнутых длительному нагружению под нагрузкой

N=0,8 N_{CRC} в течение 12 месяцев под солнечной радиацией и при постоянном режиме, трещины не появлялись. При их кратковременном нагружении момент образования трещин составил 55,6 кн, что на 6% меньше, чем для ненагруженных колонн в возрасте 12 месяцев. Сопоставляя моменты образования трещин, можно констатировать, что для, находящихся под воздействием солнечной радиации этот показатель на 22%

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.23

меньше, чем в колоннах, находящихся при постоянном режиме.

Под воздействием длительной нагрузки 0,8 N_{CRC} первые трещины появились на нагреваемой поверхности через 56 суток от начала наблюдения (с наступлением температуры в июле) в колонне, находящейся под воздействием солнечной радиации и через 71 суток трещины появились в колонне, подвергнутой к действию солнечной радиации сжатой гранью.

Как следует из проведенного анализа, что влияние сухого жаркого климата существенно сказывается на моменте образования трещин. Это связано с появлением собственных напряжений в бетоне, вызванных как деформациями усадки, так и неравномерным нагревом бетона по высоте сечения элемента, а также снижением прочности бетона на растяжение.

При определении усадочных напряжений в колонне учитывается масштабный фактор, кроме того, в колоннах, помимо усадочных деформаций возникают напряжения растяжения в бетоне за счет разницы коэффициента расширения арматуры и температурной деформации бетона. Это вызывает добавочные деформации растяжения бетона, которые способствуют раннему появлению трещин [6].

Теоретический момент образования трещин с учетом климатического воздействия сухого жаркого климата можно определить по формуле [4]:

$$M_{счс} = (R_{bt,ser} \cdot \gamma_{tt} - \delta_{cs}) \cdot W_{pl} \quad (1)$$

где $R_{bt,ser}$ - расчетное сопротивление бетона на растяжение при расчете по 2-й группе предельных состояний;

W_{pl} – момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна с учетом неупругих деформаций растянутого бетона:

γ_{tt} - коэффициент условия работы бетона на растяжение.

Значения $R_{bt,ser}$ и E_b для бетона принимались по опытным данным с учетом коэффициентов γ_{tt} и β_b в зависимости от условия хранения и твердения бетона.

В ходе наблюдений за развитием трещин в колоннах, находящихся под нагрузкой 0,8 N_{CRC} и 0,5N_p установлено, что при нагрузке 0,8 N_{CRC} с e= 0,5Y и e= Y идет с течением времени нарастание ширины раскрытия трещин и через год ширина раскрытия соответственно составили 0,15 и 0,17 мм для колонн при воздействии солнечной радиации на растянутую зону 0,14 и 0,15 мм на сжатую зону. Для колонн, находящихся при постоянном режиме, ширина раскрытия трещин составляет 0,13 и 0,14 мм, что на 9% ниже. Это объясняется, видимо более интенсивным развитием и повышенных величин деформаций усадки бетона в колоннах, находящихся под воздействием солнечной радиации.

При нагрузке 0,5 N_{CRC} характер раскрытия трещин аналогичен с характером раскрытия трещин при нагрузке 0,8 N_{CRC}. Максимальная ширина раскрытия трещин при e= 0,5Y и e= Y составила 0,22 и 0,22 мм соответственно для колонн, находящихся под воздействием солнечной радиации на растянутую зону и 0,2 и 0,21 мм на сжатую зону. По сравнению с теоретическими значениями ширина раскрытия трещин будет больше, что подтверждает влияние усадким на трещиностойкость внецентренно-сжатого железобетонного элемента и необходимость учета воздействия сухого жаркого климата при их расчете.

В связи с этим расчет ширины раскрытия трещин железобетонных элементов, находящихся в условиях сухого жаркого климата, рекомендуется производить по формуле [4,6]:

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.23

$$a_{crc} = \delta \cdot \eta \cdot 20 \cdot (3.5 - 10\mu)\sqrt[3]{d}\left[\frac{\varphi_l \cdot \delta_s}{E_s} + \varepsilon_{sp} + \varepsilon_{cs1}\right] \quad (2)$$

где δ - принимают равным для внецентренно сжатых элементов 1,0

φ_l – принимают равным при учете кратковременных нагрузок и непродолжительного действия постоянных и длительных нагрузок (первая стадия работы) - 1,0; при учете продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок (вторая стадия работы), для конструкций из тяжелых бетонов естественной влажности

$$\varphi_l = 1{,}6 - 15\mu \quad (3)$$

коэффициент η принимают равным: при стержневой арматуре периодического профиля - 1,0 и гладкой - 1,3.

Напряжение δ_s в стержнях крайнего ряда арматуры для внецентренно сжатых элементов определяют по формуле:

$$\delta_s = \frac{N(l_s - Z)}{A_s \cdot Z} \quad (4)$$

считая $z = z_s$ где z расстояние между центрами S и S_1.

Коэффициент армирования сечения μ принимают равным отношению площади сечения арматуры S к площади сечения бетона (при рабочей высоте h_0, но не более 0,02);

d - диаметр стержневой арматуры, мм.

Пластическую усадку бетона в начальный период его твердения определяют по таблице 1

Таблица 1

Пластическую усадку бетона

Влажность воздуха наиболее жаркого месяца, W%	Значения деформаций пластической усадки бетона $\varepsilon_{sp} \cdot 10^{-16}$ при h_{red} /см/	
	≤10	>10
20 и ниже	350/200	250/150
40	250/150	150/50
60и выше	150/-	-

Примечание:

1. Перед чертой приведены значения для незащищенных от солнечной радиации конструкций, после черты - для защищенных.

2. При бетонировании в прохладный влажный период года деформации пластической усадки не учитываются.

3. При бетонировании в теплый период года с 17 часов вечера до 5 часов утра деформации пластической усадки принимают как для конструкций, защищенных от воздействия солнечной радиации. ε_{cs1}- деформации от усадки бетона [8,9]

Для установления влияния сухого жаркого климата на прочность колонн, они были испытаны кратковременной нагрузкой в возрасте 40 дней после нахождения в тени и в цеху, и под воздействием солнечной радиации и после годового нахождения в условиях сухого жаркого климата. Теоретические разрущающие усилия согласно СНиП 2.03.01-96 определялись по формуле [8,9]:

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.23

$$N \cdot e = R_b\, b\, x(h_0 - 0{,}5x) + R_{sc} \cdot A'_s(h_0 - \alpha') \quad (5)$$

Теоретические разрущающие усилия, вычисленные по формуле (5), при опытных значениях с учетом коэффициента условий работы γ_{b7}= 0,85 СНиП 2.03.01-96 были выше опытных. При этом значении R_b были завышены, так как опытами было установлено, что коэффициент условий работы бетона на сжатие γ_{b7}=0,70.

При учете этого значения в формуле (5) теоретические значения разрушающего усилия имели наилучшее совпадение с опытными [13,14].

Выводы. При определении момента образования трещин в внецентренно-сжатых железобетонных элементах, работающих в условиях сухого жаркого климата необходимо учитывать влияние температуры и низкой влажности среды на прочность бетона при растяжении, модуль упругости и деформации усадки бетона, которые способствуют раннему появлению трещин. При расчетах эту особенность учитывают, используя соответствующие коэффициенты условий работы бетона.

Ширина раскрытия трещин в железобетонных элементах, работающих в условиях сухого жаркого климата, зависит от температуры сезона года.

Наибольшее раскрытие трещин наблюдается в летний период. Расчет ширины раскрытия трещин железобетонных элементах, работающих в условиях сухого жаркого климата, рекомендуется определять с учетом дополнительного раскрытия трещин, вызванных усадкой бетона.

Расчет прочности железобетонных внецентренно-сжатых элементов на действие продольной силы рекомендуется проводить с учетом влияния сухого жаркого климата принимая во внимание снижение прочности бетона путем введения бетона коэффициента условий работы бетона γ_{b7}..

Список литературы

1. Александровский С. В, Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия (с учетом ползучести). -М.: Стройиздат, 1966. - 443с.

2. Ашрабов А. Б., Назруллаев Ф. Нарастание прочности обычного и керамзитого бетонов в летних условиях Узбекистана. Труды Саз ПИ, новая серия, вып. 2. -1979. - 123 с.

3. Камбаров Х. У. Поведение железобетонных конструкций эксплуатируемых в условиях воздействия температур. -Ташкент:ВНИИНТИ, 1992. 199 с. Рукопись деп. в УзНИИНТИ 1707- У392.

4. Камбаров Х. У. , Милованов А. Ф. Физико-механические свойства бетона, арматуры и железобетона при воздействии температуры.-Ташкент: ВНИИНТИ, 1992. 241 с. Рукопись деп. в УзНИИНТИ,N1715 - У392.

5. Милованов А. Ф. Влияние климатических воздействий ка железобе тонные конструкции. /Совершенствование конструктивных форм методов расчета и проектирование железобетонных конструкций. -НИИЖБ. Госстроя СССР. 1988. *73-77* с

6. Милованов А. Ф., Камбаров Х. У. Расчет железобетонных конструкций для условий жаркого климата, - Ташкент: Укитувчи, 1991. 176 с,

7. Низамов Ш. Р. Прочность, жесткость и трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов из аглопоритобетона в условиях сухого жаркого климата, Автореф. дисс. канд. техн. наук., -М, : 1983

8. СНиП 2. 01. 07-85 "Нагрузки и воздействия". Госстрой СССР. -:1996.

9. СНиП 2. 03. 01-96."Бетонныеижелезобетонныеконструкции. М.:-ЦИТП Госстроя СССР. 1996.

DOI: 10.65322/j.srd.04182026.23

10. Строительные нормы и правила 23 01.-99 "Строительная климотология и геофизика М.:-ЦИТП Госстроя СССР. 1996.

11. Отчет Ташкентского Политехнического института по теме "Определение температур и влажности по толщине внецентренно-сжатых элементов прямоугольного сечения из тяжелого бетона при воздействии солнечной радиации. - Ташкент: 1989,

12. Ризаев Б.Ш., Нуманова С.Э. « Распределение температуры и влажности в бетоне по сечению колонн в условиях сухого жаркого климата» «Инновация в строительстве, энергосберегающие технологии, конструктивная и сейсмическая безопасность зданий и сооружений».Международная научно-техническая конференция. Наманган 7-9 ноябрь, 2019 г.

13. Б.Ш.Ризаев, А.Т.Мамадалиев, И.И.Умаров.Деформации усадки бетона в условиях сухого жаркого климата // Экономика и социум, 2022. – №1(92), – С. 92.

14. B.Sh.Rizaev, A.T.Mamadaliyev , M.B. Mukhitdinov.Shrinkage deformations of concrete in natural conditions of the republic of Uzbekistan. Universum:// Технические науки: электрон. научн. журн. 2022. – № 2(95).