

18. Kaplan M.F. Crack propagations and fracture of concrete. J. Amer. Concrete Inst., vol. 58, Nr. 5, 1961.
19. Mindess S., Nadean J.S., Effect of notch width on K_{ic} for mortar and concrete. Cement and Concrete. Cement and Concrete research. Vol. 6, 1976.
20. Moavenzadeh. F. and Kuguel R., Fracture of Concrete. Journal of Materials, vol. 4, Nr. 3, 1969.
21. Naus D.J., Lott J.L. Fracture toughness of portland cement concretes, J. Amer. Concrete institute, vol. 66, Nr. 6, 1969.
22. Sargin H Stress – Strain Relationship for Concrete and Analysis of Structural Concrete. Solid Mechanics Division, University of Waterloo, Ontario, Canada, 1971.
23. Ентов В.М. О роли структуры материала в механике разрушения. Механика твердого тела. 1976, № 3.
24. Coppola J.A., Bradt R.C. Effects of Porosity on Fracture of Al_2O_3 . Amer. J. Ceramic. Soc. vol. 56, Nr. 7, 1973.
25. Lange F.F. The interaction of a Crack Front with a Second – phase Disperion. Phill. Magazine, 22 (179), 1970.
26. Lange H Polymerimpragniertem Beton. "Baustoffindustrie", 15 (1972-B) 2.
27. Olster E.P. Jones R.C. Toughening Mechanics in Continues Filament Unidirectionally Reinforced Composites. Composite Materials (second conference). Amer.Soc. for Festing Materials, 1972.
28. Разрушение твердых полимеров. Под ред. Б. Роузен. М., «Химия», 1971.
29. Новожилов В.В. О необходимости и достаточном условии хрупкой прочности. ПММ, т.33, вып.2, 1969.
30. Каминский А.А. Определение критической нагрузки, обуславливающей развитие трещин возле криволинейного отверстия. Физико-химическая механика материала. 1966, № 1.
31. Бережницкий Л.Т. О распространении трещин, выходящих на контур криволинейного отверстия в пластине. Физико-химическая механика материалов. 1966, № 1.

УДК 666.974.2:669.16.013

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЖАРСТОЙКИХ БЕТОНОВ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В.С. Магала к.т.н., доц.

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Днепропетровск*

В промышленном строительстве доменного комплекса значительный объем занимают технологические трубопроводы с огнеупорной футеровкой. Исходя из условий газонепроницаемости и восприятия высокой температуры, трубопроводы выполняются в виде сплошного металлического кожуха и внутренней мелкоштучной футеровки. Высокая температура и ряд других

технологических факторов отрицательно сказываются на стойкости огнеупорной футеровки.

Как проектные, так и производственные организации для футеровки преимущественно применяют мелкоштучные огнеупорные материалы, исходя из их огнеупорности. При этом недостаточно обращается внимание на их теплотехнические свойства и совершенно не учитывается напряженно-деформированное состояние металлического кожуха и футеровки при температурном воздействии. Это приводит к неоправданному увеличению толщины металлического кожуха, значительным трудозатратам при их монтаже и не способствует повышению долговечности конструкций.

Начиная с 1964 года в Днепропетровском инженерно-строительном институте (ныне Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры) под руководством канд. техн. наук, доц. Семенюты В.А. была организована госбюджетная группа по жаростойким железобетонным конструкциям, которая преобразовалась, впоследствии, в отраслевую научно-исследовательскую лабораторию жаростойких бетонов и повышения долговечности металлургических агрегатов и конструкций МВ и ССО УССР и МЧМ УССР под научным руководством канд. техн. наук, доц. Прядко В.М.

Первоначально были разработаны составы жаростойких бетонов и технология футеровки отдельных конструкций тракта горячего дутья доменной печи. Устройство для подвода высокотемпературного дутья в доменную печь состоит из прямого и кольцевого воздухопроводов и фурменного прибора, включающего неподвижные и подвижные колена, патрубков, сопло и фурму (рис. 1).

Воздухопроводы диаметром 1760мм выполнены сварными из листовой стали толщиной 12мм с внутренней футеровкой 230мм. В фурменном приборе диаметр внутреннего сечения металлического кожуха по длине деталей переменный (с 864мм в неподвижном колене до 380мм при переходе в патрубок). Этот размер сохраняется в патрубке и подвижном колене. При переходе в сопло диаметр уменьшается и для сопла составляет 240-260мм. Толщина металлического кожуха литых сопел 16-18мм, сварных- 8-9мм, остальных деталей 20-25мм. Внутренняя огнеупорная футеровка выполняется толщиной 33-35мм в сопле и 70мм в остальных деталях. По тракту горячего дутья от воздухонагревателей подается воздух, нагретый до 1000-12000С под давлением в среднем 2,25 атм.

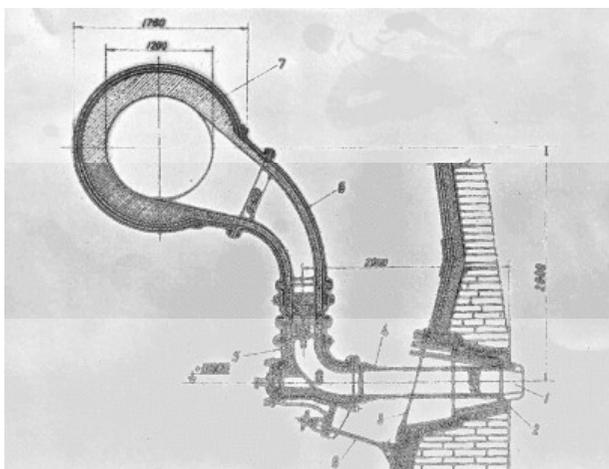


Рис.1. Устройство для подвода горячего дутья в доменную печь: 1- фурма; 2- амбразура; 3- кадушка; 4- сопло; 5- подвижное колено; 6- неподвижное колено; 7- кольцевая труба; 8- натяжной болт

С точки зрения огнеупорной футеровки, эти конструкции находятся в самых неблагоприятных условиях, так как толщина футеровки в 3-4 раза меньше по сравнению с футеровкой прямого и кольцевого воздухопроводов.

В лабораторных условиях были разработаны составы жаростойких бетонов и технология механизированной футеровки всех деталей фурменного прибора, клапанов горячего дутья и чугуновыпускных желобов доменной печи [1,2,3]. Основные составы приведены в таблице 1.

Приведенные составы 2,3,4 и 5 разработаны на уровне изобретений [4,5,6,7].

Таблица 1

Составы жаростойких бетонов

	Расход материалов по составам, кг/м ³				
	1	2	3	4	5
Жидкое стекло, плотностью 1,37-1,38 г/см ³	350	350	350	350	-
Кремнефтористый натрий	28	28	-	-	-
Глиноземистый цемент М400	-	-	-	400	-

	Расход материалов по составам, кг/м ³				
	1	2	3	4	5
Магнезитовая тонкомолотая добавка	500	400	-	-	-
Высокоглиноземистая тонкомолотая добавка	-	200	-	-	500
Циркон обезжелезненный	-	-	200	-	200
Дистен-силлиманитовый концентрат молотый	-	-	400	-	-
Шамотный песок фракции 0,14-5мм	500	500	500	500	-
Шамотный щебень фракции 5-10мм	900	900	900	1000	-
Высокоглиноземистый песок фракции 0,14-5мм	-	-	-	-	500
Высокоглиноземистый щебень фракции 5-10мм	-	-	-	-	900
Феррохромовый шлак	-	-	28	-	-
Сульфитно-спиртовая барда в пересчёте на сухое вещество	0,7	-	-	-	-
Ортофосфорная 80%-ная кислота	-	-	-	-	190

Для изготовления жаростойких бетонов используются широко известные компоненты. В качестве вяжущего применяется жидкое стекло или глиноземистый цемент. Для обеспечения равномерного твердения жаростойкого бетона на жидком стекле по толщине футеровки в его состав вводится кремнефтористый натрий или феррохромовый шлак не более 8% от веса жидкого стекла. Крупные и мелкие заполнители, а также тонкомолотые добавки составов 1,2 и 5 получали измельчением материала из боя огнеупорных изделий, степень измельчения тонкомолотых добавок соответствует прохождению через сито №0088 не менее 50-70% материала. Жаростойкий бетон составов 1-4 быстро твердеет и набирает прочность при нормальной температуре в воздушно-сухих условиях, бетон состава 5- при термообработке. Жаростойкий бетон является безобжиговым материалом. Его обжиг происходит в процессе эксплуатации. Физико-механические свойства

разработанных составов определяли в лабораторных условиях [1,4,5]. Полученные результаты показали, что жаростойкие бетоны обладают высокой прочностью по сравнению с огнеупорным кирпичом, имея при этом меньшую теплопроводность при огнеупорности в пределах 1400-1600⁰С. Себестоимость футеровки из жаростойкого бетона, изготовленной в условиях металлургического завода в 3-5 раз меньше стоимости футеровки из огнеупорного кирпича и выполняется механизированным способом. Футеровка деталей фурменных приборов жаростойким бетоном производилась методом вибрирования, что позволило обеспечить равномерное и оптимальное уплотнение бетонной смеси при минимальных затратах ручного труда. Это обеспечивается применением сборно-разборной оснастки с закреплением на ней виброоборудования. Для каждой детали применяется индивидуальная металлическая оснастка (рис. 2,3).

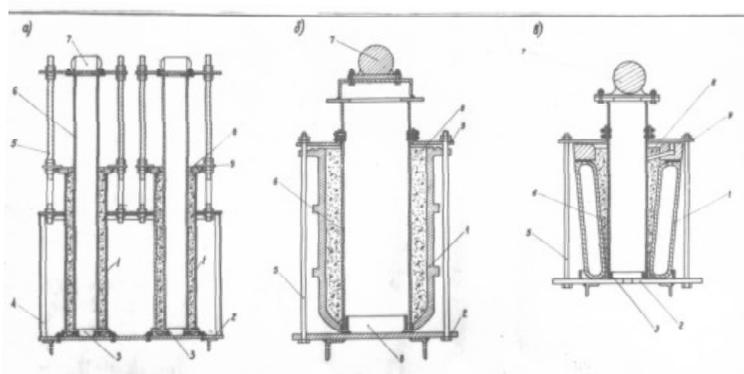


Рис.2.Конструкции установок по футеровке сопел (а), цилиндрических патрубков (б) и фурм горячего дутья (в): 1-корпус детали; 2-поддон; 3-ограничительное кольцо; 4-фиксирующие болты; 5-вибросердечник; 6-вибратор марки С 412 А; 7-футеровка из жаростойкого бетона; 8-ограничители

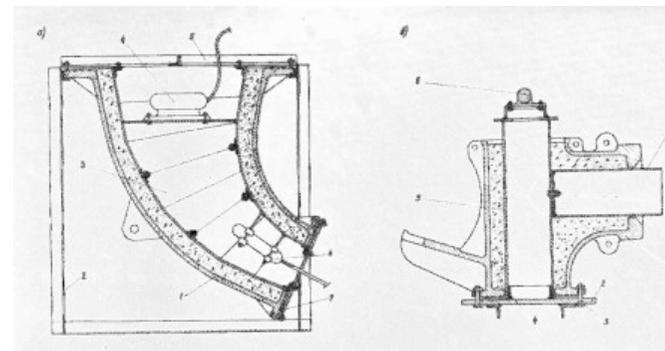


Рис.3.Конструкции установок по футеровке неподвижных (а) и подвижных (б) колен: 1-корпус детали; 2-рама (а), поддон (б); 3-вибросердечник (а), болты (б); 4- вибратор марки С 412 А(а), ограничительное кольцо (б); 5-крестовина (а), вибросердечник (б); 6-вибратор; 7-планка (а), дополнительный элемент вибросердечника (б); 8-крепежный болт

Применение металлической оснастки позволяет механизировать процесс футеровки, получить гладкую внутреннюю поверхность футеровки и толщину, заданную проектной документацией, что, в конечном итоге, повышает срок службы в процессе эксплуатации. Внешний вид деталей, футерованных жаростойким бетоном представлен на рис. 4.



Рис. 4.Детали фурменного прибора, футерованные жаростойким бетоном: а) сопло; б) патрубок; в) подвижное колено; г)неподвижное колено; д) фурмы

Разработанная технология футеровки деталей фурменного прибора доменной печи позволяет выполнять работы по футеровке как на открытых площадках заводской территории, так и в специально оборудованных цехах (рис.5).

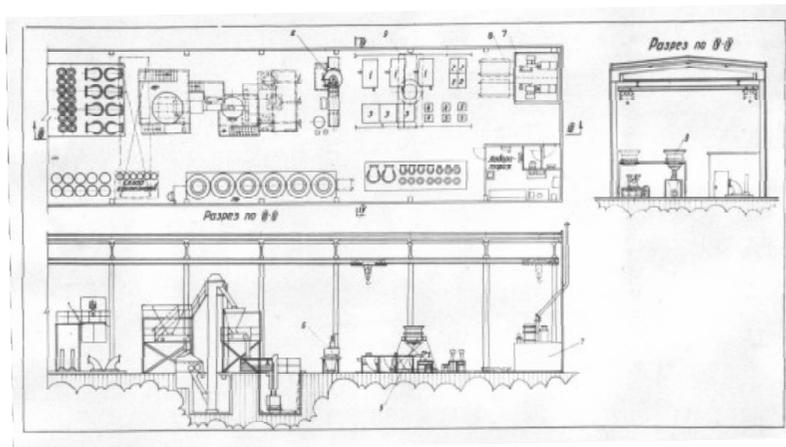


Рис. 5. Схема технологического процесса футеровки, вписанная в здание цеха: склад материалов и дробильно-помольное отделение; 1- бетономеситель; 3- универсальный бетоноукладчик; 4- стенд для футеровки сопел; 5- то же, фурм; 6- то же, неподвижных колен; 7- то же, патрубков; 8- то же, подвижных колен; 9- тележка; 10- двухкамерная сушильная печь; 11- склад готовых деталей; 12-площадка укрупнительной сборки деталей; 13-площадка для сборки оснастки и деталей; 14- склад деталей; 15- лаборатория; 16-железнодорожный путь

Результатом позитивного решения футеровки деталей фурменного прибора явилась разработка Инструкции [8], которая утверждена Министерством чёрной металлургии УССР в 1970 году, авторами которой были канд. техн. наук Прядко В.М. и инж. Магала В.С.

Сочетание хороших показателей физико-механических свойств жаростойкого бетона [9,10] позволило расширить их дальнейшее применение в тракте горячего дутья доменной печи. В условиях завода им. Петровского была осуществлена защита жаростойким бетоном колец клапанов горячего дутья, выключателей на воздухопроводе и фланцев (рис.6).

При эксплуатации воздухонагревателя №1 ДП 3 завода им. Петровского с футерованными кольцами клапана горячего дутья, фланцами и выключателями на воздухопроводе при температуре под куполом воздухонагревателя 1000-1200⁰С средняя часовая экономия тепла по результатам многократных замеров составила на режиме «нагрев» 55000 ккал/час,

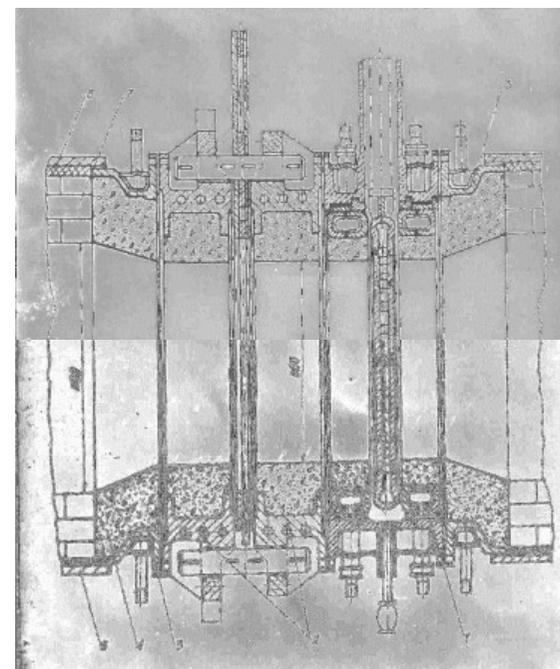


Рис.6. Конструкция клапана горячего дутья, выключателей на воздухопроводе и фланцев, футерованных жаростойким бетоном и примыкание их к воздухопроводу горячего дутья: 1-клапан горячего дутья; 2-выключатели на воздухопроводе; 3- фланцы; 4- футеровка из жаростойкого бетона; 5- воздухопровод горячего дутья; 6- асбестовая изоляция; 7-футеровка из огнеупорного кирпича

а на режиме «дутьё»-650000 ккал/час, что подтверждает целесообразность и эффективность применения жаростойкого бетона для футеровки элементов тракта горячего дутья [2]. Это вызвало необходимость изучения напряжённо-деформированного состояния образцов кольцевого сечения с арматурой в виде сплошного металлического кожуха с внутренним слоем из жаростойкого бетона [11] (рис.7).

Проведенные исследования и их анализ показали, что при оценке напряжённо –деформированного состояния расчёт необходимо вести с учётом влияния криволинейного распределения температуры по высоте сечения, изменения физико-механических свойств бетона и арматуры, изменения жесткости сечений, в зависимости от величины действующих усилий и температурных деформаций жаростойкого бетона и арматуры [12]. В связи с последующей разработкой и вводом в действие в 1986 году СНиП 2.03.04-84. «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур», были разработаны

предложения по расчёту оптимальной толщины футеровки и напряжённо-деформированного состояния кольцевых трубопроводов, находящихся под давлением и температурой теплоносителя до 1200⁰С [13].

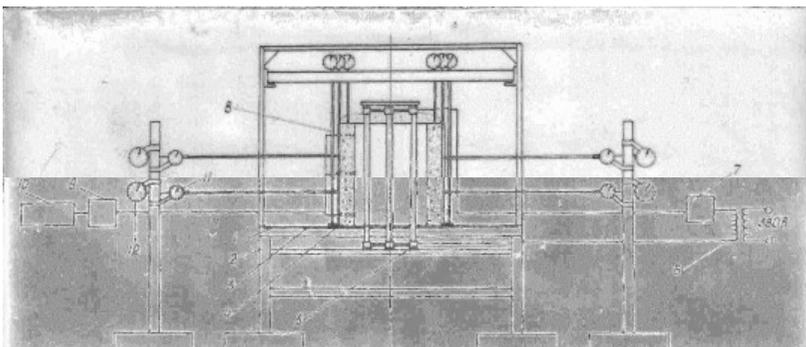


Рис. 7. Схема установки для испытания образцов кольцевого сечения на температурное воздействие: 1- бетонная плита; 2- стойки; 3- слой асбеста; 4- опытный образец; 5- карборундовые нагреватели; 6- трансформатор ТО-20Аз; 7- автоматический цит ЩНТ-201; 8- ХА термопары; 9- коммутационное устройство; 10- потенциометр ПП-63; 11- индикатор часового типа; 12- прогибомер Аистова

Расширением объёмов внедрения жаростойкого бетона в доменном производстве явилась разработка состава жаростойкого бетона [7] и сварного элемента чугуныпускного желоба литейного двора доменной печи [14] (Рис.8).

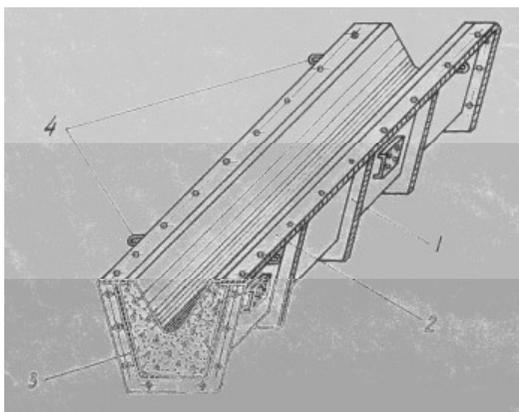


Рис. 8. Элемент чугуныпускного желоба: 1- сварная конструкция желоба с рёбрами жесткости; 2- бортовой элемент для крепления вибровкладышей; 3- жаростойкий бетон; 4- монтажные петли

Эксплуатация чугуныпускных желобов засвидетельствовала о высоких качествах бетона, который не смачивается жидким чугуном, обладает высокой термической стойкостью и износостойкостью [15].

Для футеровки главного желоба доменной печи было разработано ряд составов огнеупорных масс и исследована их работоспособность в чугуныпускном желобе литейного двора на расстоянии 2-2,5м от главного желоба [16]. В результате испытаний определился состав, которым и было произведено торкретирование желоба. Желоб эксплуатировали в течении 16-ти суток, что превысило в четыре раза существующий срок эксплуатации. Жаростойкий бетон наносили торкретированием, то есть, механизированным способом в отличие от существующего состава, укладываемого вручную.

Таким образом, опыт эксплуатации различных конструктивных элементов доменной печи показал высокую эффективность применения жаростойких бетонов как в качестве футеровки, так и при выполнении из них конструктивных элементов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. В.М.Прядко, К.И.Котов, В.С.Магала. Фурменные приборы, футерованные бетонами. Изд-во «Металлургия», 1970, с.96.
2. В.М.Прядко, К.И.Котов, В.С.Магала и др. Повышение долговечности и эффективности работы клапана горячего дутья воздухонагревателя. Ж. «Металлург» №4, 1971г.
3. В.С.Магала, А.К.Карпухина, В.Н.Щербатюк. Устойчивость огнеупорных масс при воздействии чугуна и шлака. Ж. «Металлургическая и горнорудная промышленность» №2, 1987г.
4. В.С.Магала и др. Огнеупорный бетон. Авт. св. СССР №227148. Бюллетень №29, 1968г.
5. В.С.Магала и др. Бетонная смесь. Авт. св. СССР №870373. Бюллетень №37, 1981г.
6. В.С.Магала и др. Сырьевая смесь для изготовления жаростойкого бетона. Авт. св. СССР №334801.
7. В.С.Магала и др. Огнеупорная масса для футеровки чугунных желобов доменной печи. Авт. св. СССР №265135. Бюллетень №10, 1970г.
8. Инструкция по футеровке фурменных приборов доменных печей жаростойкими бетонами и технологии их приготовления. Днепропетровск, 1970г.
9. В.М.Прядко, К.И.Котов, В.С.Магала. Футеровка фурменных приборов доменных печей жаростойким бетоном. Ж. «Сталь» №2, 1969г.
10. В.М.Прядко, В.С.Магала. Состав и свойства жаростойкого бетона до и после службы в фурменных приборах доменных печей. Ж. «Огнеупоры» №12, 1971г.
11. В.С.Магала. Исследование напряжённо-деформированного состояния жаростойких железобетонных конструкций кольцевого сечения с разработкой и исследованием составов жаростойких бетонов (применительно к фурменному прибору доменной печи). Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. г.Днепропетровск, 1973г.

12. В.М.Прядко, В.С.Магала. Исследование напряжённо-деформированного состояния жаростойких железобетонных кольцевых сечений при температурном воздействии применительно к фурменному прибору. Сборник трудов ВНИПИ Теплопроект, вып.22, М. 1973г.
13. В.С.Магала. Расчёт жаростойких железобетонных конструкций кольцевого сечения при температурном воздействии. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.-Дніпропетровськ: ПДАБтаА,2002.-№1.
14. В.М.Прядко, В.С.Магала. Чавуновипускні жолоби, футеровані жаростійкими бетонами. Інформаційний листок. Дніпропетровськ, 1971р.
15. В.М.Прядко, В.С.Магала. Опыт применения и исследование огнеупорного бетона для футеровки чугуновыпускных жёлобов доменной печи. Ж. «Огнеупоры» №5, 1972г.
16. В.С.Магала, А.П.Полтавцев и др. Огнеупорные массы для чугуновыпускных жёлобов доменных печей. Бюллетень научно-технической информации «Чёрная металлургия», №8, 1986г.

УДК 624.012.045:331.422:434

РАЗРАБОТКА МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ

В.С. Магала, к.т.н., доц., Н.В.Савицкий, д.т.н., проф,
К.В. Шляхов, к.т.н., доц., Е.В. Рабич, к.т.н

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

Проблема. В настоящее время строительство жилых и общественных зданий развивается бурными темпами. Здания, в основном, выполняются в виде монолитного каркаса с ограждающими конструкциями из эффективных материалов. Перекрытия в таких зданиях выполняются балочными или безбалочными. При проектировании возникает необходимость выбора перекрытий, которые бы отвечали современным требованиям к эксплуатационным характеристикам зданий без удорожания строительства, создавая безопасное и комфортное пространство жизнедеятельности человека.

Актуальность. В большей степени этим требованиям отвечают безбалочные перекрытия, которые выполняются в виде плоской плиты, жестко соединенной с колонной, имеющей в местах опирания капители. Разработан также ряд проектных решений, в которых капители отсутствуют. При этом особое внимание должно быть уделено решению стыкового соединения колонны с монолитной плитой перекрытия.

Целью работы является совершенствование методики расчета и проектирования плит перекрытия в каркасных зданиях для создания безопасных и комфортных условий жизнедеятельности с учетом требований Международного и Европейского стандартов МКО/ИСО (ISO 8995:2002 (E) СIE 008/E-2001).

Основной материал. Несущая способность плит, работающих в двух направлениях, определяется по методу предельного равновесия. При расчете предполагается, что плита разламывается на плоские звенья, соединенные друг с другом по линиям излома линейными пластическими шарнирами. Схема излома, образуемая линиями излома и опорными шарнирами плиты, должна удовлетворять следующим условиям:

- а) сеть положительных или отрицательных линий излома, а если обе эти сети образуются на одной и той же плите, то каждая из них в отдельности должна разделять плиту на выпуклые фигуры (выпуклые многоугольники);
- б) схема излома представляет собой однократно изменяемую систему, причем возможные перемещения ее согласуются с условиями закрепления плиты [1].

Расчет прочности плиты и капителей должен предусматривать:

- а) расчет на продавливание;
- б) расчет на излом полосы панелей вдоль или поперек перекрытия (рис. 1);
- в) расчет на одновременный излом смежных панелей разных рядов.

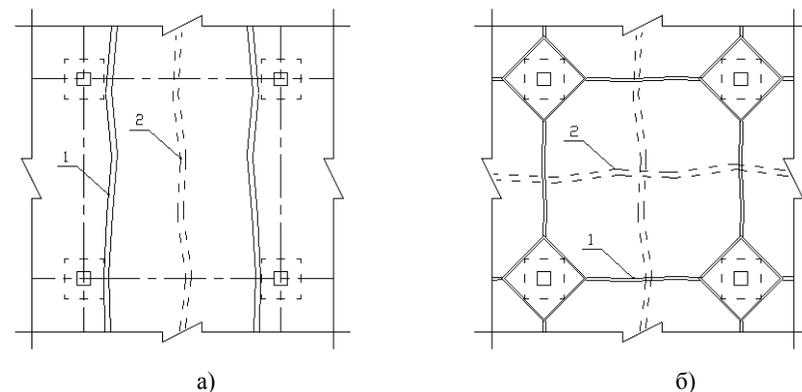


Рис. 1. Схемы разрушения безбалочного перекрытия: а) схема образования линейных пластических шарниров при полосовой нагрузке; б) то же при сплошном нагружении; 1, 2 – раскрытие пластических шарниров поверху и понизу.

Для практических расчетов плиту монолитного безбалочного перекрытия представляют как конструкцию одинаковой толщины по плану здания, которая опирается на промежуточные опоры в виде колонн с капителями. Поэтому ее можно рассматривать как плиту балочную, если соотношение сторон (расстояние между колоннами в одном и в другом направлении больше 2) или как опертую по контуру при соотношении сторон меньше 2. В большинстве случаев сетка колонн принимается квадратной или соотношением сторон меньше 2. В таком случае плита рассчитывается