

На рис. 7. представлена зависимость  $K_{IC}$  от плотности трещин. При увеличении плотности трещин в 5-6 раза  $K_{IC}$  уменьшается в 1-1,5 раза, по сравнению с неповрежденными образцами.

При плотности трещин близких к нулю образец разрушался хрупко. У поврежденных образцов наблюдалось медленное подрастание магистральной трещины в процессе нагружения.

### ВЫВОДЫ

1. Установлена зависимость прочности и трещиностойкости бетонов от плотности накопленных повреждений. Плотность дефектов величиной 13 мм/мм<sup>2</sup> является предельной и приводит к полной непригодности дальнейшей эксплуатации бетонной конструкции.
2. Предельная деформативность увеличивается в зависимости от уровня накопленных повреждений и может в несколько раз превышать предельную деформативность неповрежденного бетона.
3. С увеличением плотности дефектов коэффициент интенсивности напряжений уменьшается. При достижении предельных значений плотности дефектов бетон разрушается вязко. Предлагается использовать параметры трещиностойкости бетона, основанные на энергии разрушения.

УДК 624.012.46.046

Жукьян А.П.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ БЕТОНА СЖАТОЙ ЗОНЫ ШВА

Одним из распространенных и эффективных способов усиления плит перекрытий является усиление созданием неразрезности. Конструктивно неразрезность осуществляется установкой надпорной арматуры с последующим замоноличиванием швов на опорах и устройством наращивания.

На образованных после усиления плит перекрытия неразрезных опорах сжатая зона состоит из бетона основной (усиливаемой) конструкции и бетона замоноличивания (наращивания). При этом толщина шва между торцами усиливаемых плит перекрытий является переменной. Устройство наращивания и замоноличивание швов на неразрезных опорах выполняется бетоном одного состава, прочностные и деформационные характеристики которого могут отличаться от бетона усиливаемой конструкции. Соответственно возникла необходимость изучения прочности и деформативности бетона сжатой зоны шва.

Для моделирования работы бетона шва сжатой зоны были изготовлены опытные образцы в виде призм 150x150x600мм, состоящие из сборных элементов и бетона замоноличивания шва (рис.1). Состав бетонной смеси для изготовления сборных элементов соответствовал составу для изготовления многослойных плит перекрытий. После формирования сборные элементы подвергались температурно-влажностной обработке в пропарочных камерах завода железобетонных изделий.

В лаборатории Полоцкого государственного университета сборные элементы попарно были объединены в опытные образцы в виде призм посредством замоноличивания между

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Драган В.И., Строк М.Н. Методика исследования накопления дефектов и повреждений при помощи микроструктурного анализа// Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2002. №1(13). – С. 22-25.
2. Драган В.И., Загуляев С.В.. Методика исследования механических свойств материалов с использованием разрывной машины ИР 5145-500-10.// Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2002. №1(13). – С. 25-29.
3. Ильин Н.А. Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. – М.: Стройиздат. 1979. – 128 с.
4. Макагонов В.А. Бетон в условиях высокотемпературного нагрева. – М.: Стройиздат. – 1979. – 84 с.
5. Kjellsen K.O., Wallevik O.H., Fjallberg L. Microstructure and microchemistry of the paste – aggregate interfacial transition zone of high – performance concrete. *Advances in Cement Research*, 1998, 10, №1, Jan. 33-40.
6. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений: В 2-х томах.: Пер.с англ./Под ред. Ю.Мураками. – М.: Мир, 1990. – 1016 с., ил.
7. Шевченко В. И. Энергетический подход к оценке вязкости разрушения цементного камня и бетона.//Бетон и железобетон, - 1985. №1. – С.35-36.
8. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 18с.

ними шва заданной толщины. До испытания опытные образцы в виде призм выдерживались в нормальных условиях в течении 28-ми суток после замоноличивания швов. Уход за бетоном замоноличивания не производился, так как в реальных условиях при усилении созданием неразрезности сжатая зона плит перекрытий и покрытий на образованных после усиления неразрезных опорах является недоступной. Дополнительно для определения характеристик бетона замоноличивания шва были изготовлены цельные призмы 150x150x600мм также по три образца для каждой серии.

В качестве варьируемых факторов были приняты: ширина шва  $\Delta$  (20мм, 90мм, 200мм) и призмная прочность бетона замоноличивания (15.6 МПа, 23.9 МПа, 39.5 МПа). Были изготовлены и испытаны по три призмы-близнеца каждой серии. Испытание на центральное сжатие опытных образцов в виде призм производилось на гидравлическом прессе П-125 с измерением деформаций на каждой из граней посредством индикаторов часового типа с ценой деления 0,01мм закрепленных на базе 400мм при помощи металлических рамок. Дополнительно для измерения деформаций были наклеены по каждой грани тензорезисторы с базой 50мм на бетон сборных элементов и бетон замоноличивания (за исключением стыка 20мм). При работе с тензорезисторами использовался тензометрический мост ЦТМ-5. Для измерения деформаций контактной зоны шва использовались тензометры Гугенбергера с ценой деления 0,001 мм. Нагрузка прикладывалась ступенями не более 10% от разрушающего значения, сохраняя в пределах каждой ступени скорость нагружения 0,6±0,2 МПа/с.

Жукьян А.П. Магистр технических наук, аспирант каф. железобетонных и каменных конструкций Полоцкого государственного университета.

Беларусь, ПГУ, 211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.

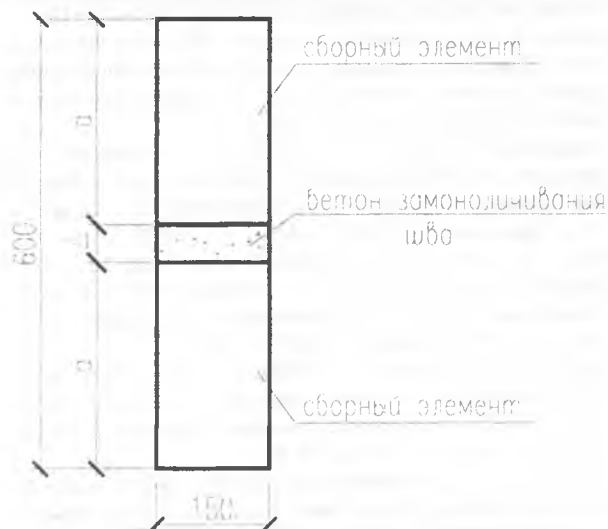


Рис. 1. Конструкция опытных призм.

Проведенные испытания показали, что характер разрушения опытных образцов с толщиной шва 20мм независимо от прочностных характеристик бетона замоноличивания, а также опытные образцы с равнопрочными характеристиками бетона замоноличивания и сборных элементов (образцы II серии) с толщиной шва 90мм и 200 мм аналогичен характеру разрушения монолитных призм.

При исследовании призм I серии с толщиной шва 90мм и 200мм, для которых прочностные характеристики бетона замоноличивания ниже прочностных характеристик сборных элементов, отмечено разрушение бетона замоноличивания без разрушения сборных элементов.

Для опытных образцов III серии с толщиной шва 90мм и 200мм, для которых прочностные характеристики бетона замоноличивания выше прочностных характеристик сборных элементов, отмечено только разрушение сборного элемента верхней либо нижней части.

Характер разрушения опытных образцов показан на рис. 2...4.

Среднее значение прочности по результатам испытания трех опытных образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Прочность опытных образцов

Шифр образца*	Толщина шва Δ, мм	$f_{сст}$ , МПа	$f_c$ , МПа	$f_{сд}$ , МПа
П-I-20	20	24,2	15,6	23,6
П-I-90	90			19,6
П-I-200	200			18,2
П-II-20	20	39,5	23,9	23,0
П-II-90	90			24,2
П-II-200	200			24,5
П-III-20	20	39,5	39,5	23,3
П-III-90	90			25,8
П-III-200	200			27,8

Условные обозначения:

П – опытный образец в виде призм; I, II, III – порядковый номер серии;

20, 90, 200 – толщина шва, мм;

$f_{сст}$  – призмная прочность сборных элементов, МПа;

$f_c$  – призмная прочность бетона замоноличивания шва, МПа;

$f_{сд}$  – призмная прочность опытных образцов, МПа

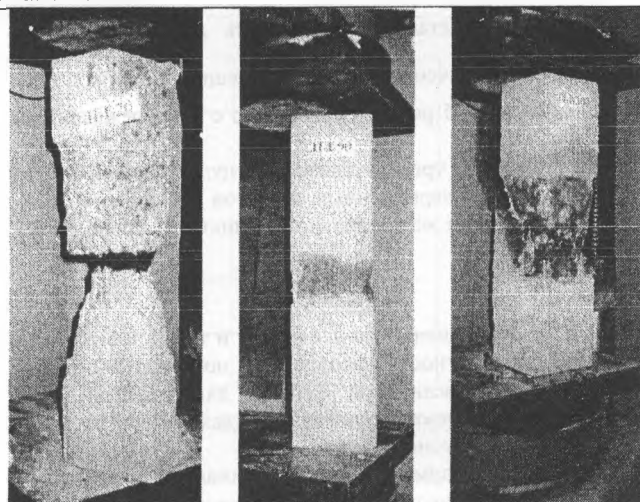


Рис. 2. Характер разрушения опытных призм I серии со швами 20мм, 90мм, 200мм соответственно.

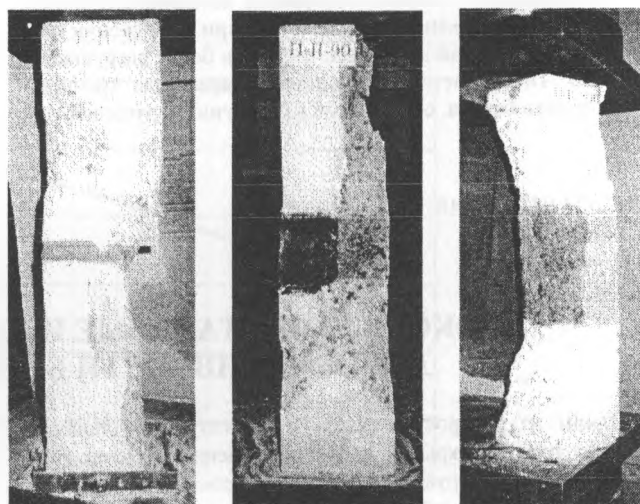


Рис. 3. Характер разрушения опытных призм II серии со швами 20мм, 90мм, 200мм соответственно.

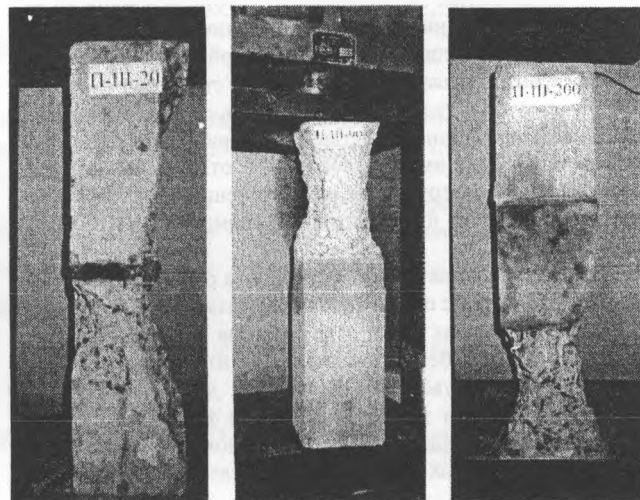


Рис. 4. Характер разрушения опытных призм III серии со швами 20мм, 90мм, 200мм соответственно.

Анализ экспериментальных данных показывает, что прочность опытных образцов с толщиной шва 20 мм независимо от призмной прочности бетона замоноличивания незначительно снизилась по отношению к призмной прочно-

сти бетона сборных элементов (на 2.5...5%). При равнопрочностных характеристиках бетона сборных элементов и бетона замоноличивания наличие шва толщиной 90мм и 200мм также не повлияло на прочность опытных образцов.

Прочность опытных образцов I и III серий с толщиной шва 90мм и 200мм определяется прочностью элемента с более низкими прочностными характеристиками. Так, для образцов первой серии с толщиной шва 90мм и 200мм произошло увеличение прочности по отношению к призмной прочности бетона замоноличивания шва в среднем на 25% и 18% соответственно, а для образцов III серии с толщиной шва 90мм и 200мм произошло увеличение прочности по отношению к прочности бетона сборных элементов в среднем на 7.5% и 13.8% соответственно.

Повышение прочности вызвано влиянием сил трения на контактных поверхностях сборных элементов призмы, уменьшением отношения высоты элемента с более низкими прочностными характеристиками к его ширине, значение которого для данных образцов изменяется в пределах 0.6...1.33.

На рис.5.6 представлены экспериментально полученные зависимости прочности опытных образцов от ширины шва и прочности бетона замоноличивания.

Проведенные экспериментальные исследования свидетельствуют о повышенной деформативности опытных образцов в виде призм со швами всех серий по сравнению с их монолитными аналогами. Инструментальные измерения деформаций по высоте опытных образцов в виде призм показали, что наибольшей деформативностью обладает контактная зона шва, при этом деформации контактной зоны вне зависимости от толщины шва и прочностных характеристик бетона замоноличивания превышают деформации сборных элементов на начальных этапах нагружения в 30...50 раз, при уровне напряжений  $0,7 \cdot \sigma_{max}$  – в 7...11 раз (рис.7).

Повышенная деформативность контактной зоны шва объясняется наличием структурных микротрещин в окаменевшем цементно-песчаном растворе по границе основного бетона и бетона замоноличивания [1]. По контактной зоне при замоноличивании происходит разрыв сплошности структуры зерен крупного заполнителя, что приводит к образованию по контактной зоне структуры бетона, состоящей только из цементно-песчаного геля. Вследствие значительного отсоса воды основными элементами из бетона замоноличивания при его твердении в составе сборной призмы происходит снижение прочностных характеристик и соответственно увеличение деформативности контактных слоев бетона замоноличивания, непосредственно прилегающих к основному бетону [1, 2].

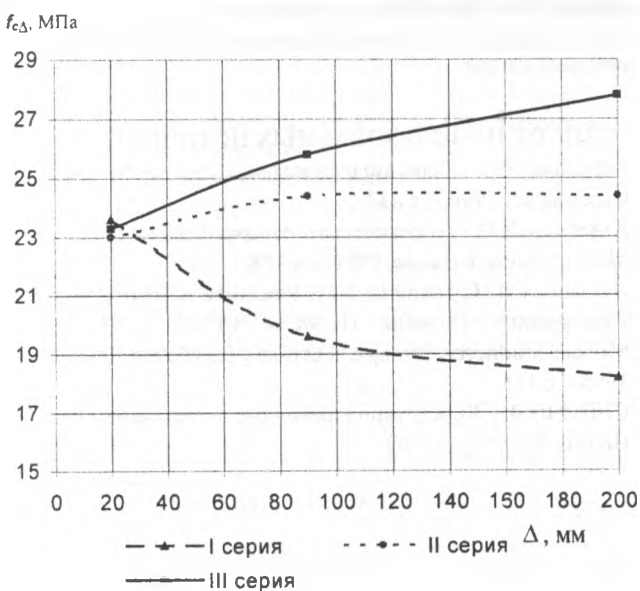


Рис. 5. Зависимость прочности опытных образцов от величины шва.

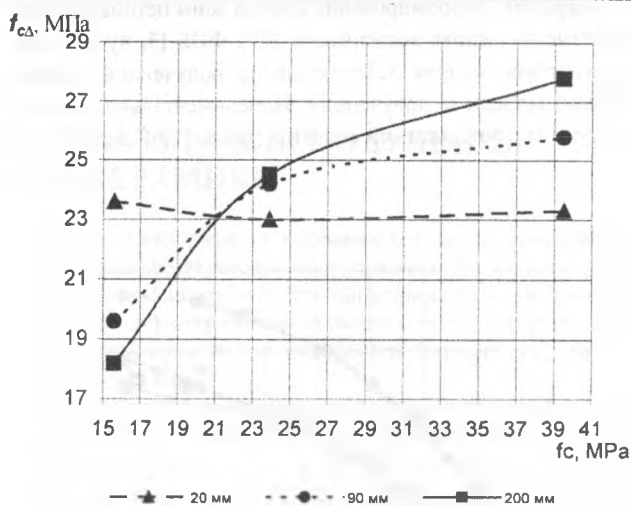


Рис. 6. Зависимость прочности опытных образцов от прочностных характеристик бетона замоноличивания шва.

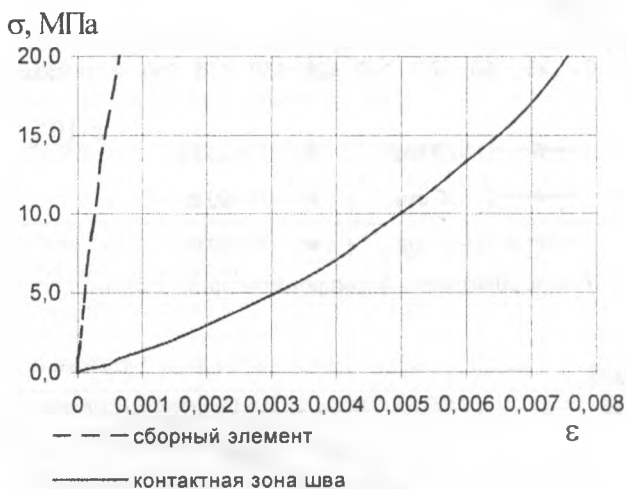


Рис. 7. Зависимость  $\sigma - \epsilon$  для основного бетона и контактной зоны шва.

Для получения диаграмм деформирования призм со швами проводилась статистическая обработка экспериментальных данных. Методом регрессионного анализа была построена зависимость модуля деформаций от ширины шва  $\Delta$  и его прочностных характеристик. В натуральных обозначениях факторов модель имеет вид:

$$E_{cm\Delta} = 19000 - 268 \cdot \Delta + 489 \cdot f_c + 4.067 \cdot \Delta \cdot f_c + 0.603 \cdot \Delta^2, \quad (1)$$

где  $E_{cm\Delta}$  - модуль деформаций, МПа;

$\Delta$  - ширина шва, мм;

$f_c$  - прочность бетона замоноличивания, МПа.

Полученная полиномиальная модель (1) справедлива при ширине шва 20...200мм и прочностных характеристиках бетона замоноличивания 15.6...39.5 МПа, соответствующих классам бетона  $C^{16}/_{20} \dots C^{40}/_{50}$

Диаграммы деформирования сжатой зоны бетона шва, построенные на основе зависимости ЕКБ-ФИБ [3, 4] с учетом корректировки модуля деформаций по полученной полиномиальной модели и полученные экспериментально, хорошо согласуются с результатами опытных данных (рис.8...10).

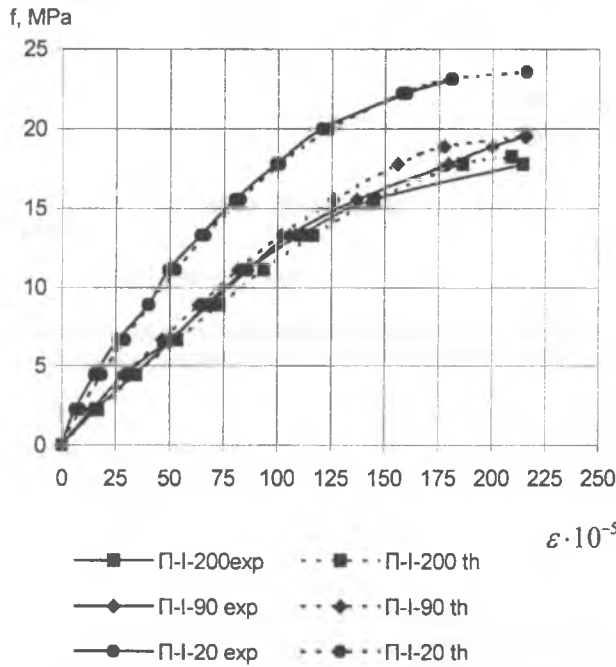
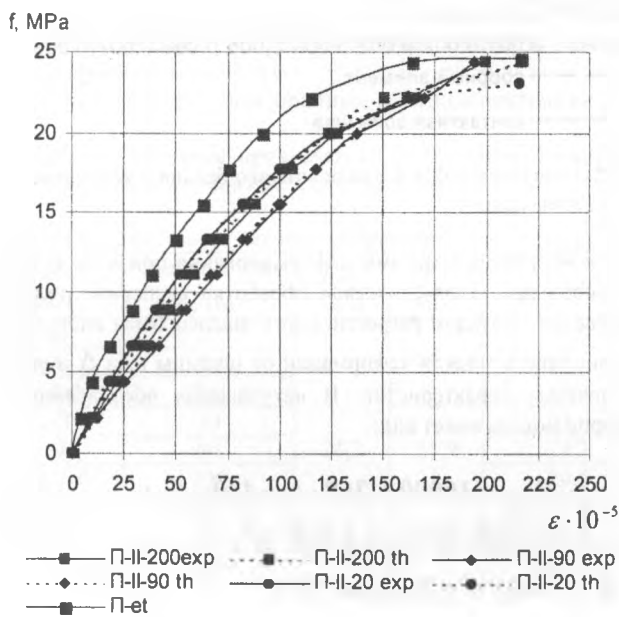


Рис. 8. Диаграммы формирования призм I серии.



Условные обозначения: П-et – диаграмма деформирования сборных элементов

Рис. 9. Диаграммы деформирования призм II серии.

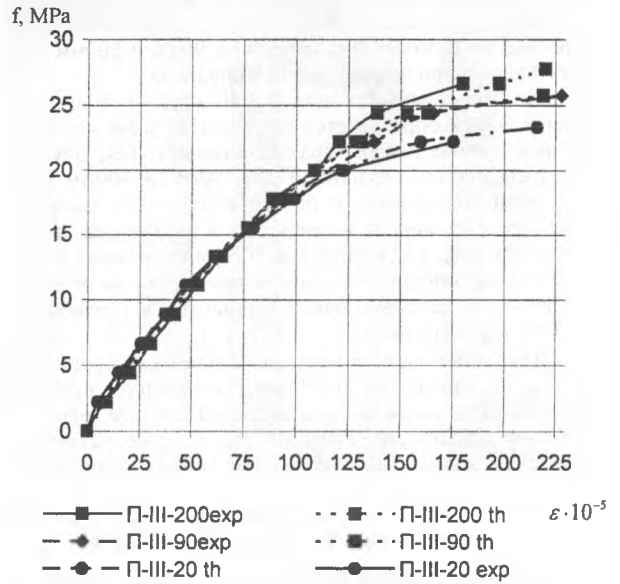


Рис. 10. Диаграммы деформирования призм III серии.

На основании проведенных экспериментально-теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

1. На основании экспериментальных данных установлено, что прочность сжатой зоны опытных образцов, состоящих из сборных элементов и бетона замоноличивания, определяется толщиной шва и прочностными характеристиками бетона сборного элемента и бетона замоноличивания.
2. Проведенные исследования показали, что опытные образцы со швами более деформативны по сравнению с их монолитными аналогами. Повышенная деформативность обусловлена значительными деформациями контактной зоны по границе сборных элементов и бетона замоноличивания.
3. Для описания диаграмм деформирования бетона сжатой зоны шва на основании экспериментально исследований получена полиномиальная зависимость по корректировке модуля деформаций. Построенные диаграммы на основе зависимости ЕКБ-ФИБ с использованием полиномиальной зависимости хорошо согласуются с результатами опытных данных.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М: Стройиздат, 1996. – с.413.
2. Ахвердов И.Н. Теоретические основы бетоноведения. – Минск, Высшая школа, 1991. – с.188.
3. Лазовский Д.Н., Пецольд Т.М. Усиление железобетонных конструкций: Пособие П1-98 к СНиП 2.03.01-84\*.- Минск: Министерство арх. и стр-ва Республики Беларусь, 1998. - с.195.
4. СНБ 5.03.01. Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования.