

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИОПОРНЫХ УЧАСТКОВ
ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ
ДЛИТЕЛЬНОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ ВЫСОКИХ УРОВНЕЙ**

Даний аналіз впливу конструктивних факторів на напружено-деформований стан і тріщиностійкість залізобетонних балок (клас бетону, проліт зрізу, поздовжнє і поперечне армування). Отримано между тривалої несучої здатності приопорних ділянок залізобетонних балок. Встановлено вплив тривалого навантаження високих рівнів на несучу здатність приопорних ділянок залізобетонних елементів що згинаються.

Analysis of structural factors (concrete strength class, shear span, transverse and longitudinal reinforcement) influence on stress-strain state and cracking is given. Bearing capacity of reinforced beams support sections under high-level of steady loading is found, as well as influence of previous applying such loading onto final short-term bearing capacity.

Железобетон, безусловно, еще на многие десятилетия останется основным конструктивным материалом для строительства. Повышение эффективности, надежности и долговечности железобетонных конструкций невозможно осуществить без совершенствования и развития практики проектирования железобетонных элементов.

Несущая способность приопорных участков балочных железобетонных элементов, находящихся в сложном напряженном состоянии, очень часто является определяющим фактором при проектировании конструкций. Вместе с тем работа этих участков до настоящего времени остается не до конца изученной. В связи с этим в Одесской государственной академии строительства и архитектуры проводятся комплексные системные экспериментальные исследования обычных, предварительно напряженных и статически неопределимых балок постоянного и переменного по высоте сечения с учетом действия внецентренно приложенных, растягивающих и сжимающих продольных сил, а также изгибающих и крутящих моментов [1,2,3]. Однако, все вышеперечисленные исследования, как в прочем и исследования других авторов, проводились главным образом при кратковременных нагружениях.

Вышесказанное свидетельствует об актуальности исследований прочности, жесткости и трещиностойкости приопорных участков изгибаемых железобетонных элементов с учетом их длительного нагружения.

Для определения несущей, способности V_{ult} а также с целью сопоставления результатов кратковременного и длительного нагружения способности V_{ult} жения, в каждой серии опытов одну из балок доводили до разрушения кратковременно действующей нагрузкой. Остальные три балки каждой серии загружали длительно действующей нагрузкой. Испытание железобетонных балок осуществлялось в соответствии с действующими рекомендациями. Всего было испытано 56 железобетонных балок.

Перед основными испытаниями были проведены предварительные эксперименты, в ходе которых было установлено, что балки загруженные в возрасте 90 суток длительной нагрузкой уровнем $0,98V_{ult}$, разрушились в течении первых двух суток. Балки загруженные длительной нагрузкой уровнем $0,95V_{ult}$ более чем в трети случаев разрушались в течении первого месяца с момента окончания кратковременного нагружения. При уровне $0,925V_{ult}$ – во всех загруженных балках наблюдалась относительная стабилизация роста деформаций и прогибов. По этой причине, в качестве уровней длительного нагружения были выбраны уровни $0,925V_{ult}; 0,9V_{ult}; 0,875V_{ult}$.

При кратковременном испытании нагрузка прикладывалась ступенями с 15ти минутной выдержкой на каждой ступени до разрушения или до заданного уровня нагружения. В интервалах между ступенями нагружения с помощью трубки Бринелля на поверхностях балок отслеживался процесс трещинообразования.

После достижения заданного уровня нагружения, нагрузка фиксировалась и с помощью пружинной кассеты и домкрата поддерживалась неизменной практически на протяжении всего эксперимента (450сут).

В процессе испытаний железобетонных балок как при длительном, так и при кратковременном нагружениях фиксировали нагрузку, прикладываемую к образцу, прогибы, деформации отдельных волокон бетона и арматуры. На продольную арматуру перед изготовлением образцов были наклеены тензорезисторы КФ5П1-5-200 с базой 5мм, которые позволили определять соответствующие деформации.

Учитывая длительность эксперимента, для снятия показаний с тензорезисторов, была изготовлена специальная тензометрическая станция (ТС) с помощью которой, измеряемое электрическое сопротивление, преобразовывалось в цифровой код, передаваемый на внешний компьютер по последовательному интерфейсу COM или USB2.0 (высокоскоростной режим). Измерения проводились по независимым и изолированным от систем управления и корпуса изделия каналам. Схема измерения – трехпроводная. Управление станцией осуществляли от КП при помощи специального программного обеспечения, разработанного применительно к ТС.

На **рис.1-3** представлены основные экспериментальные параметры напряженно деформированного состояния опытных образцов.

На **рис.1** приведено изменение стрелы прогибов для трех исследуемых балок с различным уровнем длительно действующей нагрузки. Из

представленных результатов следует что прогибы за время длительного нагружения выросли на 13-25%. Естественно, что с увеличением уровня нагрузки более интенсивно растет и стрела прогиба. Развитие деформаций (прогибов) при длительном нагружении условно можно разделить на три этапа. На первом этапе происходит ускоренное деформирование. Деформации проявившиеся за этот период составляют практически 80% от величины общей деформации за все время наблюдений.

На втором этапе деформирование происходит с условно постоянной скоростью, т.е. рост деформаций осуществляется практически по линейному закону. При уровне нагрузки $\eta = 0,875V_{ult}$ стабильно линейная часть начинается после 50 суток наблюдений. При уровне $\eta = 0,925V_{ult}$ - аналогичная стабильность наступает к 70 суткам. Деформации, проявившиеся на этом этапе, составляют порядка 20% от их общей величины. На третьем этапе скорость роста деформаций практически стремится к нулю (график параллелен горизонтальной оси).

На **рис.2** представлены продольные деформации крайнего сжатого бетонного волокна в пролете среза для трех исследуемых балок с различным уровнем длительно действующей нагрузки.

Результаты показывают, что за время длительного нагружения вышеуказанные деформации, выросли на 70-90%. Столь существенный рост обусловлен процессами ползучести, величина которых зависит от уровня нагрузки. Из конструктивных факторов большее влияние естественно оказывает класс бетона.

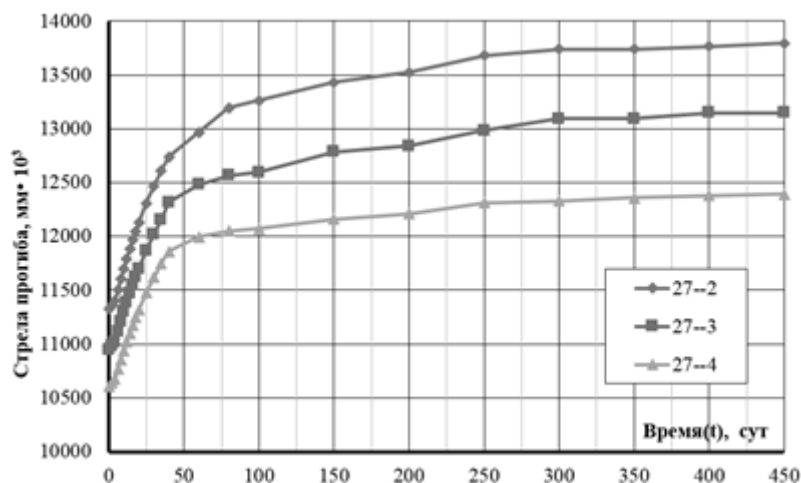


Рис. 1. Прогибы посередине длины балки при длительном нагружении

На рис.3 представлены нагельные силы в сжатой продольной арматуре в пролете среза при длительном нагружении. Из представленных результатов следует, что нагельные силы при длительном нагружении возрастают весьма существенно (до 200%), но в целом их величина, даже при столь существенном росте по-прежнему не превышает 10% от общего значения поперечной силы.

В целом, в большинстве практических расчетов пролетных конструкций с поперечным армированием, влиянием нагельных сил можно пренебречь.

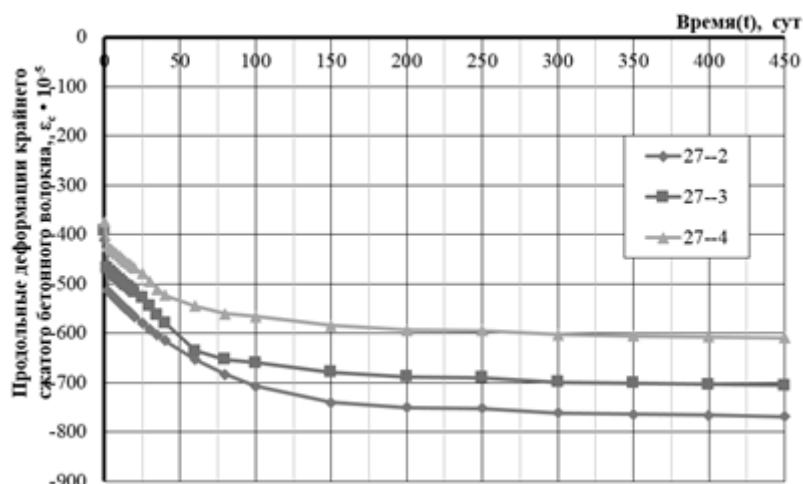


Рис. 2. Продольные деформации крайнего сжатого бетонного волокна в пролете среза при длительном нагружении

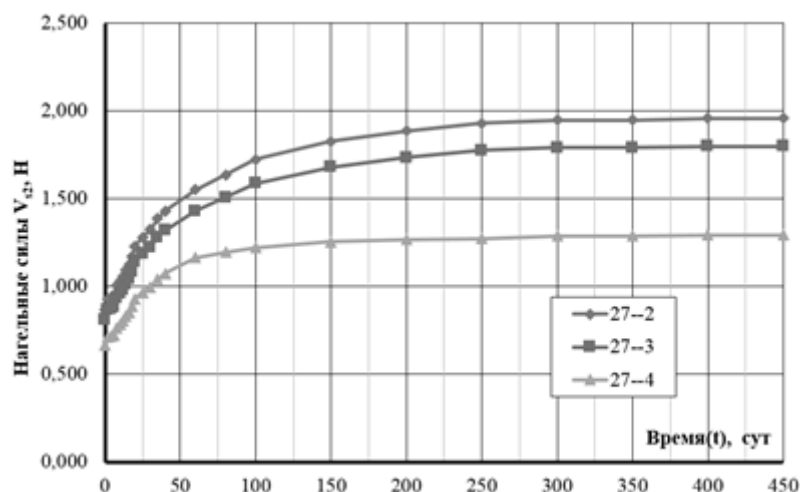


Рис. 3. Нагельные силы в растянутой продольной арматуре в пролете среза при длительном нагружении

Необходимо также отметить, что в сжатой продольной арматуре куда менее выражена тенденция к стабилизации поперечных сил — это можно объяснить значительным перераспределением напряжений в сжатой зоне над магистральной наклонной трещиной на фоне продолжающихся процессов развития и раскрытия наклонных трещин. Влияние уровня нагружения на скорость роста нагельных сил при относительно небольшом шаге величины нагрузки можно считать незначительным. Из конструктивных факторов наибольшее влияние на нее оказывает класс бетона и пролет среза.

Балки, не разрушившиеся в процессе запланированных длительных испытаний (более 80%) подвергались повторному нагружению до разрушения с целью определения несущей способности.

Следует отметить, что разрушающая нагрузка для балок предварительно нагруженных длительно действующей нагрузкой высоких уровней выросла от 7 до 27%, в зависимости от уровня нагрузки и значений исследуемых факторов

(класса бетона, пролета среза, продольного и поперечного армирования). Увеличение несущей способности связано с увеличением призмочной прочности бетона и с перераспределением внутренних усилий между арматурой и бетоном.

В целом можно утверждать, что из всех исследуемых факторов, наибольшее влияние на величину возрастания разрушающей нагрузки оказывает процент рабочего армирования и класс бетона, что объясняется самой сутью процесса перераспределения внутренних усилий в железобетонных элементах. Несколько меньшее влияние оказывает поперечное армирование и пролет среза. Процент верхнего продольного армирования является самым незначительным фактором в вышеуказанном перечне.

Несмотря на то, что разрушение при догрузениях наступает при больших относительных уровнях нагрузки, приращение прогибов и продольных деформаций в сжатой зоне бетона при нагружениях меньше чем аналогичные приращения при кратковременных нагружениях. Это объясняется тем фактом, что в процессе длительных нагружений «выбирается» быстроснатекающая ползучесть бетона.

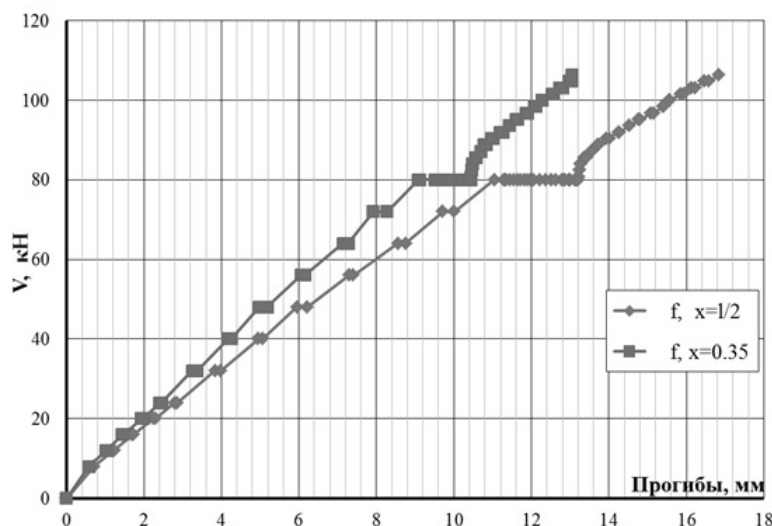


Рис. 4. Изменение прогибов посередине длины и под силой в зависимости от уровня нагрузки на протяжении всего процесса нагружения

На рис. 4 приведена динамика изменения прогибов на протяжении всего процесса нагружения (кратковременное нагружение до заданного уровня, длительное действие постоянной нагрузки и догружение до разрушения). Следует отметить, что деформирование при догружении носит более нелинейный характер, чем при кратковременном нагружении. Что касается интенсивности процессов деформирования, то они довольно близки (углы наклона графиков при кратковременном нагружении и догружении почти одинаковы). Экспериментально установлено, что в процессе догружения до разрушения ранее нагруженных балок ширина раскрытия нормальных трещин оставалась практически

неизменной, а ширина раскрытия наклонных трещин выросла в 1,2 – 1,7 раза. Новых трещины при догружениях, практически, не появлялось.

ВЫВОДЫ:

При длительном нагружении для большей части исследуемых факторов картина принципиально не отличается от кратковременного нагружения, чем выше уровень нагружения тем больше деформации и наоборот.

Безусловно, происходит перераспределение усилий и рост деформаций, вызванный ползучестью, но изменение параметров во времени относительно их значения к концу кратковременного нагружения, для большей части балок с бетоном класса **C20/25** и средним пролетом среза носит весьма сходный характер как в качественном так и в количественном отношении. В целом наблюдается давно известная тенденция: чем выше класс бетона – тем меньше, при прочих равных, влияние ползучести на длительное нагружение. На практике это приводит к меньшему относительному росту деформаций в сжатой зоне бетона и большему – в растянутой арматуре. В случае изменения пролета среза значительно меняется само распределение напряжений, механизмы деформирования и разрушения. Для балок с большим пролетом среза, фактически разрушение происходит по зоне чистого изгиба и бетон в зоне разрушения находится в одноосном напряженном состоянии.

Догружение до разрушения опытных балок, длительное время находившихся под воздействием постоянной нагрузки высокого уровня показало, что несущая способность наклонных сечений не только не снижается в результате длительного нагружения, но и повышается в среднем на 8-25% по сравнению с кратковременным нагружением.

Література

1. Дорофеев В.С. Экспериментальные исследования работы приопорных участков железобетонных балок при длительном воздействии нагрузки / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, С.Ф. Неутов, В.П. Макарук, А.С. Неутов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. № 38. - Одеса: Тов. «Зовнішрекламсервіс». - 2010. – С. 255-262.

2. Дорофеев В.С. О влиянии конструктивных факторов на несущую способность изгибаемых железобетонных элементов. / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, С.Ф. Неутов, В.П. Макарук, А.С. Неутов. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. № 39, Частина 1. - Одеса: Тов. «Зовнішрекламсервіс». - 2010. - С. 186-199.

3. Дорофеев В. С. Моделирование напряженно-деформированного состояния, образование и развитие трещин в железобетонных изгибаемых элементах с помощью ПК ANSYS MECHANICAL / В.С. Дорофеев, В. М. Карпюк, А.С. Неутов, С.Ф. Неутов, В.П. Макарук // Будивельни конструкции Книга 2 Вип №78 Киев 2013 С. 40-56.

4. Dorofeev V. S. Modeling of the stress –deformed state and cracking in reinforced concrete structures using ANSYS MECHANICAL /V.S. Dorofeev, V.M. Karhyuk, O.S. Neutov, S.F. Neutov// Technical Sciences 17(2) 2014, 105-121 UNIVERSITY OF WARMIA AND MAZURU IN OLSZTUN.