

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО АРМИРОВАНИЯ ЛЕДОВЫХ ПЕРЕПРАВ

Е.В. Лесков

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема,
г. Биробиджан

В данном исследовании поднимался вопрос укрепления ледового полотна, в частности образцов ледяных балок, армированных разными способами. Описан процесс изготовления балок, армирования. А также из чего состоит численная модель для проведения численного эксперимента. Результаты полученных экспериментально и численным методом, указаны и сравнены.

Ключевые слова: ледовая переправа, численное исследование; напряженно-деформированное состояние; прогиб; ледовая балка, композитные материалы.

INVESTIGATION OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS FOR SURFACE REINFORCEMENT OF ICE ROOF

E.V. Leskov

Priamursky State University named after Sholom-Aleikhem,
Birobidzhan

This study raised the issue of strengthening the ice sheet, in particular samples of ice beams reinforced in different ways. The process of manufacturing beams, reinforcement is described. And also what does the numerical model consist of for conducting a numerical experiment. The results obtained experimentally and by a numerical method are indicated and compared.

Keywords: ice crossing, numerical research; stress-strain state; deflection; ice beam, composite materials.

Известно, что на территории Российской Федерации, преимущественно в восточной ее части, в зимний период времени активно используются ледовые переправы. Если толщина ледяного покрова не достаточна для безопасной эксплуатации переправы, могут быть использованы традиционные методы повышения несущей способности льда. К ним относятся: намораживание льда снизу, намораживание льда сверху или усиление льда деревянным колейным настилом (ОДН 218.010-98, 1998). Однако физико-механические свойства ледяного покрова сильно зависят от различных внешних факторов (наличие снега и ветра в момент намораживания, температуры окружающей среды), а потому могут быть не всегда надежны и эффективны. В связи с этим весьма актуальной становится задача повышения несущей способности льда альтернативными методами, например, внедрением в лед армирующих элементов. Целью работы являлось экспериментальное и численное

исследование напряженно-деформированного состояния ледяных образцов, усиленных поверхностными каркасами из различных армирующих материалов.

Подготовка к проведению экспериментальных и численных исследований. Для выполнения модельных экспериментов была спроектирована и собрана универсальная нагружающая установка. Нагружающее устройство состояло из гидроцилиндра с номинальным давлением 9 атм. и распределительной силовой балки. Усилие нагружающего устройства передавалось на образец через шарнирные опоры. Нагружающая система была устроена так, что обеспечивала в средней части пролета ледяного образца чистый изгиб. Для приготовления ледяных образцов была изготовлена деревянная опалубка из досок толщиной 40 мм. Опалубка позволяла приготавливать ледяные балки размерами $L \times B \times H = 2000 \times 200 \times 200$ мм. В собранную опалубку укладывалась двухслойная полиэтиленовая плёнка толщиной 0,03 мм и армирующий каркас. Время приготовления образца в зависимости от погодных условий составляло от 5 до 7 суток при температуре окружающей среды от -16°C до -28°C . Для армирования ледяных балок использовался цельносварной армирующий каркас из стальной арматуры А400 диаметром 6 мм (рис. 1).

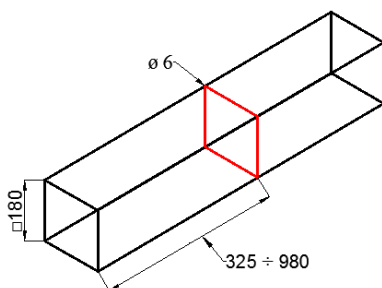


Рис. 1. Схема армирования ледяной балки

Для оценки влияния поверхностного усиления растянутой и сжатой зон на несущую способность льда в условиях чистого изгиба были проведены эксперименты по разрушению ледовых балок армированного и неармированного образцов. Для проведения численного элемента была создана численная модель, она состоит из 80160 конечных элементов и 89150 узлов. Конечный элемент для льда – SOLID 65, реализует расчетную модель Willam-Warnke (Willam, Warnke, 1974). Для моделирования работы армирующих материалов применялся конечный элемент BEAM188. Материалы, используемые для численных экспериментов: горячекатаная арматура А400; стеклопластиковая композитная арматура; углеродная арматура; арамидокомпозитная арматура; арматура комбинированная сочетанием стекла и базальта.

Результаты экспериментального и численного исследования. Стоит отметить высокую сходимость полученных экспериментальных и численных результатов по прогибам балки. Погрешность между данными вплоть до

момента разрушения не превышала 8%. Разрушающая нагрузка по данным эксперимента составила 3,6 кН, при численном расчете около 3,9 кН. (рис. 2).

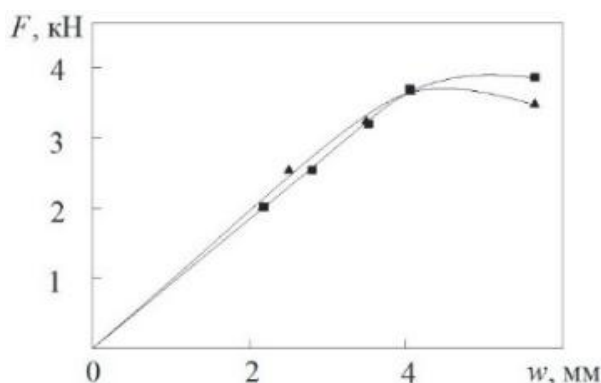


Рис. 2. Диаграмма зависимости прогиба неармированных образцов от нагрузки (\blacktriangle – результаты экспериментальных исследований, \blacksquare – результаты численных расчетов ANSYS Workbench 17.2.)

Максимальная нагрузка, которую выдержали образцы в эксперименте, составила порядка 5,9 кН, что существенно превысило предельную нагрузку, которую смог выдержать неармированный образец. При этом происходило образование сквозных трещин в испытуемых образцах, а максимальное значение прогиба составило 5,3 мм, после чего происходило полное разрушение балок. Результаты модельных экспериментов и численных расчетов хорошо согласуются в упругой зоне. В качестве критерия разрушения ледяной балки был принят резкий рост деформаций, характеризующийся потерей несущей способности и разрушением большей части сечения. При этом арматура не достигала предела текучести, а разрушение происходило с образованием обширных сквозных трещин во льду в результате действия изгибающего момента в середине пролета балки. Основные результаты численных расчетов показаны на рисунке, где представлены графики зависимости нагрузки от прогиба для образцов, армированных различными материалами (рис. 3).

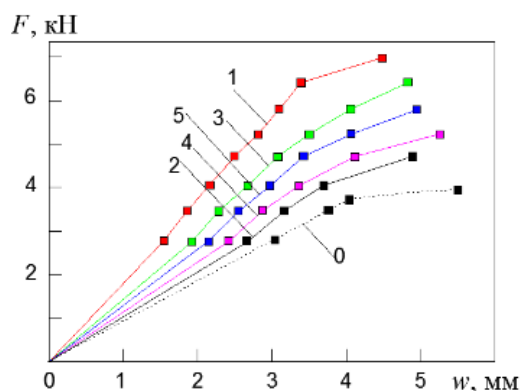


Рис. 3. Результаты расчетов нагрузка-прогиб

Также проводился эксперимент с продольным расположением арматуры схема армирования представлена на рисунке 4.

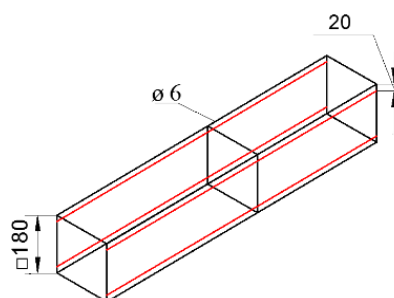


Рис. 4. Схема армирования ледяной балки

Максимальная нагрузка, которую выдержали образцы при проведении эксперимента с таким расположением арматуры, составила порядка 10,6 кН. Это значение существенно превысило предельную нагрузку, который смог выдержать неармированный образец. При этом происходило образование сквозных трещин в испытуемых образцах, а максимальное значение прогиба составило около 8,25 мм после чего происходило полное разрушение балок.

Анализ данных показывает, что использование армирующих каркасов из различных композитных материалов приводит к существенному увеличению несущей способности льда.

Список литературы:

ОДН 218.010-98. Инструкция по проектированию, строительству и эксплуатации ледовых переправ: введен 01.10.1998.: утвержден ФДС России от 1998-08-26 // Союздорнии Госстроя России. 1998.

Willam K.J, Warnke K.J. Constitutive model for the triaxial behavior of concrete // Seminar of concrete structures subjected to triaxial stresses. Bergamo, Italy. 1974. N 19. P. 3-11.