

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 001.891.573

№ госрегистрации 20160591

Инв №

Ректор
д.т.н., профессор

_____ Д.Н. Лазовский

« ____ » _____ 2017г.

ОТЧЕТ

о выполнении задания 3.1.19

«Методы и алгоритмы расчета нелинейных вероятностных моделей строительных элементов для оценки надежности зданий и сооружений» государственной программы научных исследований «Информатика, космос и безопасность» (заключительный)

Научный руководитель
проректор по научной работе,
к.т.н., доцент

_____ Д.О. Глухов

« ____ » _____ 2017г.

Новополоцк 2017

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель,
профессор по научной работе,
к.т.н., доцент

Д.О. Глухов
(Главы 1-3)

ответственный исполнитель
старший преподаватель

Т.М. Глухова
(Введение, заключение)

исполнители

Е.Д. Лазовский

Нормоконтролер

Л.В. Ищенко

РЕФЕРАТ

Отчет 71 с., 26 рис., 8 табл., 82 источника

Объект исследования или разработки: вероятностная модель строительной конструкции.

Цель работы – разработка новых методов и алгоритмов оценки надежности строительных конструкций на основе статистического моделирования.

При проведении исследований использовались следующие методы и методологии: теории вероятности и математической статистики; вычислительной математики; численных методов; нечеткой логики.

В результате исследований разработаны новые алгоритмы для вероятностного моделирования строительных конструкций и отдельных ее элементов, учитывающие нелинейные свойства материалов, реологические процессы и процессы деградации свойств, а также вероятностный характер воздействий.

Результаты НИР реализованы в рамках программного комплекса «Beta 5.0», применяющегося для оценки надежности зданий и сооружений в деятельности проектных организаций Республики Беларусь. Результаты НИР используются на кафедре строительных конструкций УО «Полоцкий государственный университет» при чтении лекций, проведении лабораторных работ, при выполнении дипломных проектов и при проведении научно-исследовательской работы студентов, магистрантов и аспирантов специальности «Промышленное и гражданское строительство».

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	7
1.1 Основные нелинейные модели элементов строительных конструкций.....	7
1.2 Нелинейная модель железобетонного элемента по сечению, нормальному к продольной оси	8
1.3 Нелинейная модель железобетонного элемента в области действия перерезывающих сил	10
1.4 Нелинейная модель по сечению, нормальному к продольной оси, внецентренно сжатого железобетонного элемента	14
1.5 Нелинейная блочная модель растянутого элемента с изгибом	15
1.5 Нелинейные модели материалов при одноосном напряженном состоянии	18
1.5 Нелинейные модели материалов при двухосном напряженном состоянии.....	20
Выводы по главе 1.....	25
2 АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	26
2.1 Анализ особенностей алгоритмов расчета нелинейных моделей элементов строительных конструкций	26
2.2 Алгоритм нелинейного расчета железобетонного элемента по сечению, нормальному к продольной оси	27
Определим обобщенное квадратурное правило трапеций:	28
2.3 Алгоритм нелинейного расчета железобетонного элемента в области действия перерезывающих сил	32
Выводы по главе 2.....	38
3 ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	40
3.1 Постановка задачи оценки надежности строительных конструкций	40
3.2 Вероятностные модели и оценки параметров строительных конструкций по результатам обследования	40
3.3 Вероятностные модели, применяемые при проектировании	42
3.4 Анализ результатов статистического моделирования.....	43
3.5 Реализация полного нелинейного вероятностного метода оценки надежности конструктивного строительного элемента.....	47
Выводы по главе 3.....	51

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РАЗРАБОТАННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ КОНСТРУКТИВНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА.....	52
4.1 Верификация нелинейной модели по сечению нормальному к продольной оси .	52
4.2 Анализ результатов экспериментально-теоретических исследований изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза	54
4.3 Анализ результатов экспериментального исследования опытных фрагментов предварительно напряженных многопустотных плит безопалубочного формования в составе платформенных стыков	58
Выводы по главе 4.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	63
ПРИЛОЖЕНИЕ	70
Научные статьи в журналах и сборниках научных трудов.....	70

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тур В.В., Пецольд Т.М., Малыха В.В., Марковский Д.М. Многоуровневая система оценки надежности железобетонных конструкций эксплуатируемых и реконструируемых зданий и сооружений // Строительная наука и техника. – 2007. – № 4. – С. 4–19.
2. Казачек В. Г. Проблемы обеспечения надежности железобетонных конструкций при проектировании, обследовании и эксплуатации зданий и сооружений // Строительная наука и техника. — 2007. — № 6. — С. 28—38
3. Глухов Д.О., Лазовский Д.Н. Оценка параметров теоретических распределений случайных величин в расчете надежности строительных конструкций / Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F, Прикладные науки. Строительство. – 2008. – № 6. – С. 2-12
4. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О., Глухова Т.М. Оценка вероятностных характеристик распределения эффектов от внешнего воздействия и функции предельного состояния в расчетах железобетонных элементов / Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F, Прикладные науки. Строительство. – 2009. – № 6. – С. 35-40
5. Darmawan M.S. and Stewart M.G. Effect of pitting corrosion on capacity of prestressing wires / Magazine of Concrete Research, 2007, 59, No. 2. – P.131-139
6. Atadero R.A., Karbhari V.M. Probabilistic Based Design for FRP Strengthening of Reinforced Concrete / SP-230-42: Department of Structural Engineering at the University of California, San Diego. – P.723-742
7. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О., Лешкевич О.Н. Особенности расчета статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом геометрической и физической нелинейности методом конечных элементов / Актуальные проблемы расчета зданий, конструкций и их частей: теория и практика: мат. междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 21-22 марта 2002 г.). – Минск: УП "Технопринт", 2002. – С. 104-109
8. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О., Лешкевич О.Н. Программный комплекс для расчета пространственных железобетонных конструкций / Тезисы докладов белорусско-польского научно-практического семинара (Белосток, Республика Польша, 11-13 сентября 2001 г.). – Минск, 2001. – С. 91-92.
9. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О. Распределенные вычисления статистических моделей железобетонных элементов и конструкций в поверочных расчетах / Проектирование, организация и технология работ по реконструкции, модернизации и ремонту жилья массовой застройки II половины XX века: мат. междунар. конф. (Минск, 24-25 сентября, 2008 г.). – Минск: НИПТИС им. С. С. Атаева, 2008. – С. 42-44.
10. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О., Глухова Т.М. Обследование строительных конструкций с применением статистических методов расчета железобетонных элементов / Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F, Прикладные науки. Строительство. – 2008. – № 12. – С. 34-40

11. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О., Глухова Т.М. Особенности реализации вероятностного метода расчета надежности строительных элементов на основе нелинейной деформационной модели / Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. ст. – Гродно: Гродн. гос. ун-т, 2010. – С. 105-108
12. Глухов Д.О., Лазовский Д.Н. Численный анализ расчетной модели нормального сечения проекта СНБ 2.03.01-98 / Совершенствование железобетонных конструкций, оценка их состояния и усиление: Сб. материалов респ. науч.-техн. конференции / Под ред. Т.М.Пецольда. — Мн.: УП «Технопринт», 2001. — С.97. — ISBN 985-464-055-8
13. Глухов Д.О., Лазовский Д.Н., Лешкевич О.Н. Программы БЭТА и RADUGA для расчета строительных конструкций / Архитектура и строительство. — №6 (148). — Минск: Полипринт, 2001. — С.28-30
14. Глухов Д.О., Глухова Т.М. Генераторы случайных чисел для расчета надежности строительных конструкций / Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки. – №3. Серия С. – Новополоцк: РИО ПГУ, 2008. – С.60-68
15. Глухов Д.О., Лазовский Е.Д., Глухова Т.М., Самощенко Г.А. Применение мягких вычислений для сглаживающей аппроксимации сложных сингулярных зависимостей / Вест. Полоц. гос. ун-та. Фунд-ные науки. - 2012г.- № 12- с.2-5
16. Рвачёв В. Л., Синекон Н. С. Метод R-функций в задачах теории упругости и пластичности. — Киев: Наукова думка 1990.
17. Галёркин Б. Г. Стержни и пластинки. Ряды в некоторых вопросах упругого равновесия стержней и пластинок. // Вестник инженеров. — 1915. — Т. 1. — С. 897—908
18. Глухов Д.О., Хаткевич А.М. Метод расчета прочности сжатых каменных элементов по сечениям нормальным к продольной оси / Вестник Полоцкого государственного университета. Строительство. Прикладные науки. – №8. Серия F. – Новополоцк: РИО ПГУ, 2016
19. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-1. Общие правила для армированных и неармированных каменных конструкций : СТБ EN 1996-1-1-2008. – Введ. 31.09.2008. – Минск : Гостандарт, 2009. – 86 с.
20. Каменная кладка из пильных известняков / С.В. Поляков, Ю.В. Измайлов, В.И. Коноводченко и др. – Кишинев: Изд-во «Картя Молдовеняскэ», 1973. – 345с.
21. Vecchio F.J. // Analysis based on the Modified Compression Field Theory / IABSE Colloq. On Structural Concrete, Stuttgart, 1991, IABSE Report, v. 62, pp.321-326
22. Глухова Т.М. Комбинирование стратегий поиска решений в задачах расчета систем нелинейных сингулярных уравнений / Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. С, Фундаментальные науки.- Новополоцк: ПГУ.- 2013. - № 4. - С. 22-27
23. Collins M.P., Mitchell D. // Pre-stressed Concrete Structures. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1991, 766 pp.

24. Collins M.P., Mitchell D., Adebare P., Vecchio F.J. //General Shear Design Method / ACI Struct. Journ., v.93, N 1, January-February, 1996, pp. 36-45.
25. Vecchio F.J. // Analysis based on the Modified Compression Field Theory / IABSE Colloq. On Structural Concrete, Stuttgart, 1991, IABSE Report, v. 62, pp.321-326
26. Vecchio, F.J., and Collins, M.P., "The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear," ACI Journal, Vol. 83, No. 2, Mar.-Apr. 1986, pp.219-231
27. ГОСТ 8829-94 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости.
28. Изменения №1 РБ ГОСТ 8829-94 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости.
29. Пособие П 1-98 к СНиП 2.03.01-84* Усиление железобетонных конструкций.
30. Ton Vrouwenvelder Reliability Based Code calibration The use of the JCSS Probabilistic Model Code / Joint Committee of Structural Safety Workshop on Code Calibration, March 21/22, Zurich
31. Бетонные и железобетонные конструкции : СНБ 5.03.01-02. – Введ. 01.07.2003. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2003. – 140 с.
32. Лазовский А.Д., Глухов Д.О., Глухова Т.М. Алгоритм расчета сопротивления изгибу многопустотных плит перекрытий безопалубочного формования в составе платформенных стыков зданий / Вестник Полоцкого государственного университета. Строительство. Прикладные науки. – №8. Серия F. – Новополоцк: РИО ПГУ, 2017. – 82-89с.
33. Залесов, А.С. Влияние прочности бетона на несущую способность железобетонных элементов при действии поперечных сил / А.С. Залесов, О.Ф. Ильин // Расчеты и конструирование железобетонных конструкций. Материалы УП Всесоюз. конференц. по бетону и железобетону. – М. – 1972. – С. 160-165.
34. Залесов, А.С. Несущая способность железобетонных элементов при действии поперечных сил / А.С. Залесов, О.Ф. Ильин // Бетон и железобетон. – 1972. – №6. – С. 19-20.
35. Залесов, А.С. Расчет прочности приопорных участков балок на основе двухблочной модели / А.С. Залесов, Г.И. Попов, Б.У. Усенбаев // Бетон и железобетон. – 1986. – №2. – С. 34-35.
36. Зиганшин, Х.А. Прочность железобетонных элементов по наклонным сечениям при эпюрах изгибающих моментов, характерных для консольных и неразрезных балок : дис. ... канд. техн. наук : 5.23.01 / Х.А. Зиганшин ; НИИЖБ М., 1981. – 254 л.
37. Климов, Ю.А. Теория и расчет прочности, трещиностойкости и деформативности железобетонных элементов при действии поперечных сил : дис. ... д-ра техн. наук : 5.23.01 / Ю.А. Климов. – Киев, 1992. – 502 л.

38. Collins, M.P. Shear Design of Complex HSC Structures / M.P. Collins // Proc. Symp. On Utilization of High Strength Concrete, Stavanger, Norway, 1987. – P. 345—364.
39. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции: общий курс. Учебник для вузов / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – 5-е изд. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
40. Байков, В.Н. Особенности работы приопорных участков балок / В.Н. Байков, А.С. Залесов // Бетон и железобетон. – 1984. – №7. – С.20-22.
41. Баранова, Т.И. Новый метод расчета поперечной арматуры в коротких элементах / Т.И. Баранова // Бетон и железобетон. – 1987. – №3. – С.22-24.
42. Баташев, В.М. Прочность, трещиностойкость и деформации железобетонных элементов с многорядным армированием / В.М. Баташев. – Киев: Будівельник, 1978. – 120с.
43. Белобров, И. К. Оценка прочности изгибаемых элементов по наклонному сечению / И. К. Белобров, О. М. Лоскутов // Бетон и железобетон. – 1985. – № 6. – С. 9-11.
44. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – Монография. – М.:Изд-во «АСВ», 2004. – 472с.
45. Бондаренко, В.М. Усиление железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях. Учеб. пособие / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин; М.: МГАКХиС, – 2009. – 87с.
46. Боришанский, М. С. Расчет железобетонных конструкций при действии поперечных сил: Расчет и конструирование элементов железобетонных конструкций / М. С. Боришанский. М.: Стройиздат, – 1964. – С. 122-160.
47. Боришанский, М.С. Николаев Ю.К. Образование косых трещин в стенках предварительно напряженных балок и влияние предварительного напряжения на прочность под действием поперечных сил / М.С. Боришанский, Ю.К. Николаев // Прочность и жесткость железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, – 1968. – С.5-55.
48. Булай, Ю. А. Исследование предварительно напряженных аглопоритобетонных изгибаемых элементов на действие поперечной силы: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Булай Ю. А.; Белорус. политехн. инст-т. – Минск: Высшая школа, –1963. – 19 с.
49. Васильев, П.И. Влияние характера трещинообразования на сопротивление железобетонных элементов поперечной силе / П.И. Васильев, О.А. Рочняк, Н.Н. Яромич // Совершенствование методов расчета и исследование новых типов железобетонных конструкций. Труды Ленинградского инж.-строит. инта. – Ленинград, –1981. – С.19-25.
50. Гвоздев, А.А. Прочность элементов с двухзначной эпюрой моментов на действие поперечных сил / А.А. Гвоздев, А.С. Залесов, Х.А. Зиганшин // Бетон и железобетон. – 1982. – №3. – С.38-39.
51. Гвоздев, А.А. Силы зацепления в наклонных трещинах / А.А. Гвоздев, А.С. Залесов, И.А. Титов // Бетон и железобетон. – 1975. – №7. – С.44-45.

52. Гольшев, А.Б. Экспериментальные исследования железобетонных элементов при совместном действии изгибающего момента и поперечной силы / А.Б. Гольшев, В.И. Колчунов, Г.А. Смоляго // Исследование строительных конструкций и сооружений. – М., 1980. – С.26-42.
53. Дорошкевич, Л.А. Экспериментальные исследования образования наклонных трещин в железобетонных балках / Л.А. Дорошкевич, Б.А. Шостак // Вестн. Львовского политехн. ин-та. Вопросы современ. стр-ва, Вып. 63. – Львов, 1971. – С. 42-50.
54. Карпенко, Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1976. – 208с.
55. Карпенко, Н.И. О новом построении критериев прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил / Н.И. Карпенко, С.И. Карпенко ; Академия. №3. РААСН. М.: Наука – 2006. С. 26-32.
56. Колтунов, А.И. Прочность и трещиностойкость по наклонным сечениям изгибаемых железобетонных элементов с поперечной арматурой класса Ат600с : дис. ... канд. техн. наук : 5.23.01 / А.И. Колтунов. – Новополюцк, 1998. – 153 л.
57. Кондратчик, А.А. Экспериментально-теоретические основы расчета конструкций из напрягающего бетона при совместном действии изгибающих моментов, продольных и поперечных сил. Монография / А.А. Кондратчик. – Брест, БрГТУ, 2007. – 172 с.
58. Кондратчик, Н.И. Прочность приопорной зоны изгибаемых сборно-монолитных самонапряженных железобетонных конструкций : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 5.23.01 / Н.И. Кондратчик ; Брестский гос. техн. ун-т. – Брест, 2001. – 21 с.
59. Польский, П.П. Влияние пролета среза и продольного армирования на прочность наклонных сечений железобетонных элементов из различных видов бетона / П.П. Польский // Вопросы прочности, деформативности и трещиностойкости железобетона. – Вып. 5 – Ростов-на-Дону, 1979. – С.23-33.
60. Тур, В.В. Применение напрягающего бетона при усилении перекрытий и покрытий / В.В. Тур, В.С. Басов, М. Круль // Rzeczynawstwo budowlane : Materialy I Konf. Medzynar. Naukowej, Kielce. – Cedzyna, 1995 / Politechnica Swetokzyska P2 / ТВ. – Kielce, 1995. – S. 119-134.
61. Тур, В.В. Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил : Монография / В.В. Тур, А.А. Кондратчик. – Брест.: БрГТУ, 2000. – 397с.
62. Xiaoping Du and Junfu Zhang. "Second-Order Reliability Method with First-Order Efficiency" Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference (2010) Available at: <http://works.bepress.com/xiaoping-du/75/>
63. Королёв В. Ю. EM-алгоритм, его модификации и их применение к задаче разделения смесей вероятностных распределений. Теоретический обзор.— М.: Изд- во ИПИРАН, 2007
64. В.Ю. Королёв, Е. В. Непомнящий, А. Г. Рыбальченко, А. В. Виноградова Сеточные методы разделения смесей вероятностных распределений и их

- применение к декомпозиции волатильности финансовых индексов / Информатика и её применения. – Том 2. – Выпуск 2, 2008. – ISSN 1992-2264. – С.3-18
65. Королев В. Ю. EM-алгоритм, его модификации и их применение к задаче разделения смесей вероятностных распределений. Теоретический обзор — М., ИПИ РАН, 2007. — 94с.
66. Haldar, A., and Mahadevan, S. (2000) Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design, Wiley, New York.
67. Cornell C. A. Bounds on the Reliability of Structural Systems / C. A. Cornell // American Society of Civil Engineers : Journal of the Structural Division ASCE. – February, 1967. – Vol. 93, No. ST. – P. 171–200.
68. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1978. – 239 с.
69. Кудзис, А.П. О прочности железобетонных изгибаемых элементов в наклонном сечении / А.П. Кудзис // Бетон и железобетон. – 1985. – №6. – С. 8-9.
70. Кудзис, А.П. Статистический анализ ширины раскрытия наклонных трещин в элементах переменной высоты / А.П. Кудзис, В.И. Виршилас, И.И. Жекевичюс // Вопросы надежности железобетонных конструкций. – Куйбышев, 1973. – С. 130-133.
71. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования : учеб. пособие для студентов строит. специальностей / под ред. проф. Т. М. Пецоляда и проф. В. В. Тура. – Брест : БГТУ, 2003. – 380 с.
72. Жукьян, А. П. Прочность и деформативность бетона сжатой зоны шва / А. П. Жукьян // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2002. – С. 87–90.
73. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций : ТКП EN 1992-1-1:2009 / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Минск, 2010. – Ч. 1-1 : Общие правила и правила для зданий. – 207 с.
74. Тур, В. В. Прочность и деформации бетона в расчетах железобетонных конструкций / В. В. Тур, Н. А. Рак. – Брест : БГТУ, 2003. – 252 с.
75. Hognestad, E. What do we know about Diagonal Tension and Web Reinforcement in Concrete? / E. Hognestad : Univ. of Illinois Engrg. Exp. Station, Circular Series no.64. – 1952. – 47 p.
76. Vecchio, F.J. The Modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear / F.J. Vecchio, M.P. Collins // ACU. – 1986. – Vol. 83, №2. – P. 219-231.
77. Thorenfeldt, E. Mechanical Properties of HSC and application in Design / E. Thorenfeldt, A. Tomaszewicz, J. Jensen // Proc. Symp. of HSC. – Stavanger, 1987. – P.149-159.
78. Belarbi, A. Stirrup Stresses in Reinforced Concrete / A. Belarbi, T.T.C. Hsu // ACI Structural Journal. – 1990. – Vol. 87, № 5. – P. 530-538.
79. Hsu, T.T.C. Torsion of Reinforced Concrete / T.T.C. Hsu. - New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1984. – 516 p.

80. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП II-21-75. – Введ. 01.11.1977. – М.: Стройиздат, 1976. – 89 с.
81. Rackwitz, R., and Fiessler, B. Structural Reliability under Combined Random Load Sequences / Computers and Structures, 9. – 1978. – P.489-494
82. Allen, T. M., Nowak, A. S., Bathurst, R. J. Calibration to Determine Load and Resistance Factors for Geotechnical and Structural Design / Transportation Research Circular E-C079, Transportation Research Board, Washington, D.C. – 2005