

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ФАКУЛЬТЕТ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ**

**КАФЕДРА «МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОРОЖНО-  
СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА»**

**ДОПУЩЕНА К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой

  
А.В. Вавилов

(подпись)

« 18 » 06 2021г.

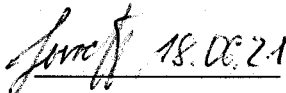
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание степени магистра технических наук

Тема: «Эксплуатационная надежность башенного крана и предпосылки к  
разработке методики расчета»

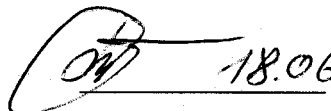
Специальность 1 - 36 80 02 «Инновационные технологии в машиностроении»

Магистрант

  
18.06.21  
(подпись, дата)

С. С. Непарко

Руководитель  
к. т. н., доцент

  
18.06.21  
(подпись, дата)

М. М. Гарост

Минск 2021

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Целью исследования** является разработка методики оценки эксплуатационной надежности башенных кранов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **основные задачи**:

- 1) провести анализ аварийных ситуаций и дефектов в процессе эксплуатации кранов и пути их устранения;
- 2) подобрать методику оценки нагруженности металлоконструкций башенных кранов, предоставляющую все исходные данные по нагруженности, необходимые для расчетов эксплуатационной надежности;
- 3) определить характер закона распределения глубины коррозии и его параметры для основных силовых элементов металлоконструкций башенных кранов;
- 4) определить характер зависимости глубины коррозии от наработки и ее параметры для элементов металлоконструкций;
- 5) выявить влияние основных параметров коррозионного дефекта на выбор типа расчета при оценке надежности металлоконструкций;
- 6) подобрать методику оценки эксплуатационной надежности элементов, имеющих коррозионные повреждения.

**Объектом исследования** являются основные несущие элементы металлоконструкций башенных кранов, как лимитирующие работоспособность и ресурс крана в целом.

**Предметом исследования** является эксплуатационная надежность башенных кранов, а именно опасных участков их элементов.

Автор видит **научную новизну** исследования в следующих достижениях:

- 1) подобрана расчетно-экспериментальная методика оценки нагруженности металлоконструкций башенных кранов, учитывающая различие основных эксплуатационных параметров перегрузочного процесса;
- 2) представлены методики расчета эксплуатационной надежности по критерию живучести для опасных участков металлоконструкций башенных кранов, позволяющие оценить временные интервалы роста усталостных трещин на этих участках;
- 3) выявлен характер закона распределения глубины коррозии и его параметры для основных силовых элементов металлоконструкций, показывающий, что распределение глубины коррозии соответствует логарифмически нормальному закону;
- 4) выявлен характер зависимости глубины коррозии от наработки и ее параметры для ряда элементов металлоконструкций, свидетельствующий, что развитие коррозии наиболее адекватно описывается логарифмическим уравнением;

- 5) выявлено влияние основных параметров коррозионного дефекта на выбор типа расчета при оценке надежности металлоконструкций;
- 6) подобрана методика оценки эксплуатационной надежности элементов, имеющих коррозионные повреждения, основанная на оценке напряженно-деформированного состояния элементов металлоконструкции и статистических данных по оценке скорости развития коррозионных повреждений.

**Практическая ценность** работы, по мнению автора, заключается в следующем:

- подобрана инженерная методика оценки эксплуатационной надежности по критерию живучести для опасных участков металлоконструкций башенных кранов, охватывающая все стадии расчета; все допущения методики направлены в запас живучести;

- подобрана методика расчета параметров функции зависимости глубины коррозии от наработки;

- получен большой объем теоретических данных по нагруженности, позволяющих в будущем выполнить приближенные расчеты живучести оценочного характера для большинства узлов башенных кранов с целью принятия решения о возможности их дальнейшей эксплуатации.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав и заключительной части, изложенных на 92 страницах машинописного текста, включает 20 иллюстраций, 1 таблицу, библиографический список из 88 источников.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов, утв. постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 22.12.2018 № 66.
2. Причины аварий строительных кранов [Электронный ресурс] / Магнитогорский Государственный Технический Университет им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2009. – Режим доступа : <http://samzan.ru/225365>. – Дата доступа : 25.04.2021.
3. Башенные краны [Электронный ресурс] / Строительные краны и техника. – Режим доступа : <https://kran-info.ru/b/book/1/>. – Дата доступа : 25.04.2021.
4. Технический отчёт № ТД 002–2017 от 16 января 2017 года по техническому диагностированию грузоподъемного крана, с истекшим нормативным сроком службы. Кран башенный КБ-572Б, зав. № 1120, рег.№ 25-31-0590. ООО «ЭдВикТехно». Минск. 2017
5. Технический отчёт № ТД 100–2016 от 20 сентября 2016 года по техническому диагностированию грузоподъемного крана, с истекшим нормативным сроком службы. Кран башенный на портале с балочной стрелой КП-300, зав. № 415, рег.№ 7430. ООО «ЭдВикТехно». Минск. 2016
6. Технический отчёт № ТД 054–2015 от 21 августа 2015 года по техническому диагностированию грузоподъемного крана, с истекшим нормативным сроком службы. Кран башенный СК-3861, зав. № 60, рег.№ 207. ООО «ЭдВикТехно». Минск. 2015
7. Технический отчёт № ТД 193–2018 от 18 октября 2018 года по техническому диагностированию грузоподъемного крана, с истекшим нормативным сроком службы. Кран башенный передвижной КБ-404.4, зав. № 175, рег.№ 25-31-1282. ООО «ЭдВикТехно». Минск. 2018
8. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-1.03-103-2009 (02250) «Краны грузоподъемные. Капитальный, полнокомплектный и капитально-восстановительный ремонт». Правила выполнения. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Минск 2009.
9. Вафин Р.К., Лешковцев В.Г. «Основы механики разрушения. Учебное пособие», М., изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1989, 42с.
10. Вершинский А.В. «Технологичность и несущая способность крановых металлоконструкций», М., Машиностроение, 1984, 167с.
11. Злочевский А.Б. «Долговечность элементов металлических конструкций в связи с кинетикой усталостного разрушения», автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, М., изд-воМИСИ, 1985.

12. Котельников В.С., Еремин Ю.А., Зарецкий А.А., Короткий А.А. «Концепция оценки остаточного ресурса металлических конструкций грузоподъемных кранов, отработавших нормативный срок службы» // Безопасность труда в промышленности, 2000, №10, с. 41-46.
13. Круль К. «Оценка работоспособности строительных машин с дефектами», диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Москва, 1999.
14. Нургужин М.Р. «Разработка методологических основ расчета характеристик живучести крановых металлоконструкций», диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Караганда, 1999.
15. «Прочность сварных соединений при переменных нагрузках», под ред. В.И.Труфякова, Киев, Наукова думка, 1990, 256с.
16. Пустовой В.Н. «Металлоконструкции грузоподъемных машин. Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса», М., Транспорт, 1992, 256с.
17. Ряхин В.А. «Прогнозирование ресурса металлических конструкций строительных и дорожных машин» // Строительные и дорожные машины, 1994, №4, с. 24-27.
18. Соколов С.А. «Вероятностные основы расчета ресурса металлических конструкций по методу предельных состояний» // Проблемы машиностроения и надежности машин, 1997, №4, с. 105-112.
19. Волков Д.П., Николаев С.Н. «Надежность строительных машин и оборудования». Учебн. пособие для ВУЗов., М., Высшая школа, 1979, 400с.
20. Кубарев А.И. «Надежность в машиностроении». М., Изд-во стандартов, 1989, 224с.
21. Пронников А.С. «Надежность машин». М., Машиностроение, 1978, 592с.
22. Решетов Д.Н. «Надежность машин. Учеб. пособие для машиностр. спец. ВУЗов». М., Высшая школа, 1988, 238с.
23. Брауде В.И., Семенов Л.Н. «Надежность подъемно-транспортных машин», Л., Машиностроение, 1986, 183 с.
24. Зубко Н.Ф. «Надежность и оптимизация запасов деталей портовых машин». М., Транспорт, 1992, 144с.
25. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. «Природа усталости металлов», М., Metallургия, 1975, 455с.
26. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. «Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. Справочник», М., Машиностроение, 1984, 224с.
27. Махутов Н.А., Матвиенко Ю.Г. «Механика разрушения в концепции обеспечения безопасности технических систем» // Вестник машиностроения, 1992, № 10-11, с. 8-13.

28. «Машиностроение, энциклопедия, Динамика и прочность машин», т. 1-3, кн. 1, под общ. ред. Колесникова К.С., М., Машиностроение, 1994, 543с.
29. Кудрявцев П.И. «Нераспространяющиеся усталостные трещины», М., Машиностроение, 1982, 174с.
30. Гохберг М.М. «Металлические конструкции подъемно-транспортных машин», Л., Машиностроение, 1976, 456с.
31. Гусев А.С. «Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках», М., Машиностроение, 1989, 243с.
32. Когаев В.П. «Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени», М., Машиностроение, 1977, 232с.
33. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е., Саввина Н.М. «Усталость крупных деталей машин», М., Машиностроение, 1981, 240с.
34. Махутов Н.А., «Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность», М., Машиностроение, 1981, 272с.
35. Москвитин В.В. «Циклические нагружения элементов конструкций», М., Наука, 1981, 344с.
36. Панасюк В.В., «Предельное равновесие хрупких тел с трещинами», Киев, Наукова думка, 1968, 246с.
37. Партон В.З. «Механика разрушения: от теории к практике», М., Наука, 1990, 240с.
38. Ряхин В.А., Мошкарев Т.Н. «Долговечность и устойчивость сварных конструкций строительных и дорожных машин», М., Машиностроение, 1984, 230с.
39. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. «Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность», М., Машиностроение, 1975, 488с.
40. РД-10-43-2001. Методические указания по проведению технического диагностирования грузоподъемных кранов с истекшим сроком службы. Общие требования к периодичности и видам работ». Минск, 2001
41. ТКП 054-2007 (02300). Техническое диагностирование и продление назначенного ресурса (назначенного срока службы) безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах. Общие положения.
42. РД 10-112-3-97 «Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 3. Башенные, стреловые несамходные и мачтовые краны, краны-манипуляторы», М., 1997.
43. Васютин А.Н. «О выборе конструкционных материалов при наличии исходных трещиноподобных дефектов» // Проблемы машиностроения и надежности машин, 1990, №6, с. 44-48.

44. Коновалов JT.B. «Методы и практическая реализация обеспечения высокой конструкционной надежности деталей машин по критериям усталости» // Вестник машиностроения, 1992, №3, с. 24-27.

45. Матвиенко Ю.Г. «Детерминированный анализ безопасности, живучести и остаточного ресурса по критериям механики трещин» // Заводская лаборатория, 1997, №6, с. 52-58.

46. «Механика разрушения и прочность материалов. Т.1. Основы механики разрушения материалов» под общ. ред. Панасюка В.В., в 4 т., Киев, Наукова думка, 1988, 488с.

47. Нотт Дж. «Основы механики разрушения», М., Металлургия, 1978, 256с.

48. Плювинаж Г. «Механика упругопластического разрушения», М., Мир, 1993, 450с.

49. РТМ «Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета на трещиностойкость металлоконструкций мостовых кранов при статическом и циклическом нагружении», Красноярск, 1990.

50. Пэрис П., Эрдоган Ф. «Критический анализ законов распространения трещин» // Техническая механика, 1968, №4, с. 60-68.

51. Paris P., Erdogan F. "A critical analysis of crack propagation laws" // Journal of basic engineering, Trans. ASME, 1963, №85, p. 528-534.

52. Paris P.C., Gomer M.P., Anderson W.E. "A rational analytic theory of fatigue" // Trend in engineering, 1961, №13, p. 9-14.

53. Анохин А.А., Георгиев М.Н. «Расчет на прочность тел с трещинами» // Физико-химическая механика материалов, 1986, №2, с. 65-69.

54. Похмурский В.И., Гнып И.П., Микитишин С.И. «К вопросу аналитического описания кинетических диаграмм усталостного разрушения металлов» // Физико-химическая механика материалов, 1984, №4, с. 100-101.

55. Ильин А.В., Никонов Ю.А., Прохоров В.Д. «Метод определения критической величины J-интеграла в условиях стабильного роста трещин» // Проблемы прочности, 1992, № 3, с. 18-25.

56. Райе Дж., «Разрушение. Том 1. Математические методы в механике разрушения», М., Мир, 1975, с. 204-335.

57. Стрижало В. А., Березовский А.А. «Применение критериев нелинейной механики разрушения при исследовании роста поверхностных усталостных трещин» // Проблемы прочности, № 6, 1993, с. 3-13.

58. Цыбанев Г.В. «Энергетическая трактовка результатов усталостных испытаний и исследование ее для определения стадии зарождения трещины» // Проблемы прочности, 1994, №2, с. 19-26.

59. "Fatigue crack growth under spectrum loads", ASTM STP. 595, American society for testing and materials, 1976, p. 339.

60. Махутов Н.А., Зацаринный В.В., Базарас Ж.Л. и др. «Статистические закономерности малоциклового разрушения», М., Наука, 1989, 252 с.
61. Ряхин В.А., Злочевский А.Б., Лифшиц В.Л. «Сварные металлические конструкции строительных и дорожных машин: Учебное пособие», М., МГСУ, 1994, 104с.
62. Проект методических указаний по определению остаточного ресурса металлических конструкций грузоподъемных кранов, Санкт-Петербургский государственный технический университет, 1998.
63. Зенкевич О., «Метод конечных элементов в технике», М., Мир, 1975, 541с.
64. Пискунов В.Г., Бузун И.М., Городецкий А.С. и др. «Расчет крановых конструкций методом конечных элементов», М., Машиностроение, 1991, 240с.
65. Постнов В.А., Хархурим И.Я., «Метод конечных элементов в расчете судовых конструкций», Д., Судостроение, 1974, 343с.
66. Хечумов Р.А., Кепплер Х., Прокопьев В.И. «Применение метода конечных элементов к расчету конструкций», изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 1994, 353с.
67. Бенерджи П., Баттерфилд Р. «Методы граничных элементов в прикладных науках», М., Мир, 1984, 494с.
68. Винокуров В.А., Куркин С.А., Николаев Г.А., под ред. Патона Б.Е. «Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности», М., Машиностроение, 1996, 576с.
69. Махненко В.И. «Влияние остаточных напряжений на распространение усталостных трещин в элементах сварных конструкций» // Автоматическая сварка, 1979, № 4, с. 1-4.
70. Barsom J.M., Rolfe S.T. "Fracture and fatigue control in structures. Applications of fracture mechanics", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987, 630p.
71. «Справочник по кранам. Т.1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций», под общ. ред. М.М.Гохберга, М., Машиностроение, 1988, 536с.
72. Хечумов Р.А., Кепплер Х., Прокопьев В.И. «Применение метода конечных элементов к расчету конструкций», изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 1994, 353с.
73. Гусев А.С., Светлицкий В.А. «Расчет конструкций при случайных воздействиях», М., Машиностроение, 1984, 240с.
74. РД 10-112-95 «Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, поднадзорных Госгортехнадзору России», 1995 г.



75. Соколов Ю.Ф., Леонова О.В. «Расчетно-экспериментальная оценка нагруженности основных несущих элементов металлоконструкции крана Альбатрос» // Сборник научных докладов и тезисов 2-й международной конференции стран СНГ «Молодые ученые - промышленности, науке, технологиям и профессиональному образованию для устойчивого развития: проблемы и новые решения», Часть 1, М., изд. АМИ, 2000, с. 135-137.

76. Труфяков В.И., Кныш В.В., Михеев П.П., Коваленко П.С. «Методика расчетной оценки циклической трещиностойкости сварных соединений с учетом влияния остаточных напряжений» // Автоматическая сварка, 1990, №1, с. 1-4.

77. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчёты деталей машин на прочность. М., 1975.

78. Пустовой В.Н. Металлоконструкции грузоподъемных машин. Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса. М.: Транспорт, 1992, 256 с.

79. Панасюк В.В. Механика разрушения и прочность материалов, т. 1-4., справочное пособие, 1988-1990.

80. Романив О.Н., Никифорчин Г.Н. Механика коррозионного разрушения конструкционных сплавов. М.: Metallurgy. 1986. 294 с.

81. Справочник по кранам. Под ред. Гохберга М.М. 1 и 2 т.

82. Похмурский В.И. Исследование влияния реакции воды номинальных параметров на скорость роста усталостных трещин в стали 15X2НМФХА. ФХММ, №2, 1985.

83. Механика разрушения. Быстрое разрушение, остановка трещин. Сборник статей. Пер. с англ. Гольдштейна Р.В. М.: Мир, 1981, 256 с.

84. Общетеchnический справочник. Под ред. Скороходова Е.А. М.: Машиностроение, 1982, 418 с.

85. Пустовой В.Н. Коррозионно-циклическая трещиностойкость сталей и сварных соединений металлоконструкций грузоподъемных машин. ФХММ, №2, 1991.

86. Ганшкевич А.Ю. «Эксплуатационная надёжность металлоконструкций порталных кранов с коррозионными повреждениями», М., 2004г.

87. ГОСТ 11.009-79. ПС. «Правила определения оценок и доверительных границ для параметров логарифмически нормального распределения».

88. Круль К. «Оценка работоспособности строительных машин с дефектами», диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук, М., 1999г.