

ОШСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Диссертационный совет К 05.01.132

УДК 621.879.06

На правах рукописи

ТУРГУНБАЕВ МЕЛИСБЕК СЫРГАБАЕВИЧ

**НАГРУЖЕННОСТЬ И УСТАЛОСТНАЯ
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
ЭКСКАВАТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАМЕНИСТЫХ
ГРУНТОВ С ИЗНОШЕННЫМИ ЗУБЬЯМИ КОВША**

Специальность 05.05.04 – дорожные и строительные машины

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена на кафедре «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.

Научный руководитель - доктор технических наук, академик Международной академии транспорта, профессор ТУРГУМБАЕВ Ж.Ж.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, академик Международной академии транспорта, профессор КАБАШЕВ Р.А.
кандидат технических наук
ТОБОКЕЛОВ К.Т.

Ведущая организация - Кыргызско-Российский (Славянский) университет

Защита состоится 26 апреля 2002 года в 14 часов на заседании диссертационного совета К 05.01.132 при Ошском технологическом университете (Ош ТУ), в ауд. 217 главного корпуса, по адресу: 710118, г. Ош, ул. Исанова, 81.


С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОшТУ.

Автореферат разослан 19 марта 2002 г.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направлять в адрес диссертационного совета.

Телефон для справок: (3222) 5-45-38.

Ученый секретарь
диссертационного совета

 К.К.Атабеков

Актуальность работы. Увеличение объемов земляных работ, выполняемых одноковшовыми гидравлическими экскаваторами, определяет повышенные требования к их долговечности, в особенности к металлоконструкциям рабочего оборудования.

Факторами, влияющими на долговечность металлоконструкций рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов, являются условия эксплуатации гидравлических экскаваторов и состояние режущих элементов, повышенный износ которых, допускаемый в условиях производственной эксплуатации, увеличивает нагрузки в 1,6...2 раза. Возрастание силы резания вследствие взаимодействия рабочего органа с каменистыми включениями обуславливает увеличение напряженного состояния металлоконструкций рабочего оборудования, снижает эксплуатационную надежность машины.

Отсутствие методики определения влияния состояния режущих элементов гидравлических экскаваторов на нагруженность и долговечность металлоконструкций рабочего оборудования при разработке грунтов с каменистыми включениями определяет актуальность диссертации.

Цель работы - установление закономерностей режимов нагружения и их влияния на усталостную долговечность металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов при разработке грунтов с каменистыми включениями с зубьями различной степени изношенности на ковше на основе выявленного грунтового фона эксплуатации землеройных машин и разработка рекомендаций по увеличению срока службы металлоконструкций рабочего оборудования.

Основные задачи исследования:

- установление грунтового фона эксплуатации землеройной техники с глубиной до 5...6 м по территории Кыргызской Республики;
- изучение состояния режущих элементов землеройных машин в производственных условиях;
- разработка методики и программы экспериментальных исследований по определению нагруженности металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов при разработке грунтов с каменистыми включениями с учетом износа зубьев ковша;
- разработка методики расчета металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов на усталостную долговечность при разработке грунтов с каменистыми включениями с учетом износа режущих элементов.

Объект исследования - металлоконструкция рабочего оборудования одноковшового неполноповоротного гидравлического экскаватора ЭО-2621А с зубьями различной степени изношенности на ковше.

Научная новизна работы:

- получена зависимость для определения эффективного периода процесса нагружения – параметра, необходимого для расчета срока службы по методу случайных функций;
 - получены аналитические выражения для расчета количества циклов повреждающих амплитуд за единицу времени, являющиеся основным параметром при расчете срока службы металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов, коэффициенты, позволяющие учитывать влияние изношенности зубьев и каменных включений в грунте для расчета эквивалентной амплитуды напряжений;
 - получены статистические модели усталостной долговечности локального участка металлоконструкций рабочего оборудования при воздействии случайных факторов в различных комбинациях;
 - разработана методика расчета металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов на усталостную изношенность при разработке каменных грунтов с зубьями различной изношенности на ковше.
- Практическая ценность работы заключается в установлении грунтового фона эксплуатации землеройной техники глубиной до 5...6 м на территории Кыргызской Республики, с распределением различных видов грунтов по уровням залегания с толщиной 2 м, в определении вероятностной группы грунтов по трудности разработки землеройными машинами по территории Кыргызской Республики, в получении зависимостей, определяющих основные физико-механические свойства, категории грунтов, в рекомендациях и предложениях по рациональному конструированию и совершенствованию эксплуатации рабочих органов гидравлических экскаваторов.

Реализация работы. Основные результаты исследований по грунтовым условиям эксплуатации землеройной техники по территории Кыргызской Республики использованы при выполнении хозяйственной темы гос. рег. № 0000795 инв. № 0000546. Результаты теоретических и экспериментальных исследований используются в учебном процессе при изучении дисциплины «Строительная механика и металлические конструкции строительных и дорожных машин», «Машины для земляных работ».

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на семинарах кафедр «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины» КГУСТА и «Автомобили и технология сервиса» ОшГУ, на Международных научно-технических конференциях (г. Бишкек, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 гг.), на Международной научно-технической конференции (г. Алматы, 1998 г.), Международной конференции на Иссык-Куле (1996 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 9 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов, изложенных на 165 страницах текста, 46 рисунков, 19 таблиц, списка литературы из 119 наименований и приложений на 33 страницах.

На защиту выносятся:

- результаты исследования по установлению грунтового фона эксплуатации землеройной техники глубиной до 5...6 м, по уровням залегания различных видов грунтов толщиной 2 м по территории Кыргызской Республики;
- результаты по установлению моделей основных характеристик грунтового фона, вероятностной группы грунтов по трудности разработки землеройными машинами;
- результаты исследования нагруженности металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов при разработке грунтов с каменными включениями зубьями различной зауплотности;
- результаты количественной оценки влияния износа зубьев ковша на расчетный срок службы металлоконструкций рабочего оборудования при разработке грунтов с каменными включениями;
- методика расчета локальных участков металлоконструкций рабочего оборудования на усталостную долговечность с учетом износа зубьев и каменных включений грунта;
- результаты количественной оценки влияния выброса случайных факторов на расчетный срок службы металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов, рекомендации по рациональному конструированию и предложения по совершенствованию эксплуатации экскаваторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены направление и цель диссертационного исследования, основные положения, выносимые на защиту, новизна полученных результатов.

В первой главе проведен обзор и анализ по исследованию нагруженности металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов, усталостной долговечности сварных металлоконструкций, основных видов изнашивания режущих элементов экскаваторов, теоретических основ расчета на усталостную долговечность.

Грунтовые условия эксплуатации землеройной техники в Кыргызской Республике обуславливают исследование нагруженности и усталостной долговечности металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов при разработке грунтов с каменными включениями с изношенными зубьями. Эти вопросы не изучены, несмотря на определяющее влияние каменных включений в грунте, износа зубьев на нагруженность и усталостную долговечность металлоконструкций рабочего оборудования.

Расчетная оценка усталостной долговечности сварных металлоконструкций проводится по двум направлениям:

- на основе непосредственного определения повреждающих воздействий циклов напряжений;

- на основе корреляционной теории случайных функций.

При этом наиболее объективную информацию для расчета усталостной долговечности можно получить путем непосредственных замеров напряжений в натурных конструкциях экскаваторов в реальных условиях эксплуатации.

На основе проведенного анализа исследований сформированы основные задачи работы и пути их решения.

Во второй главе рассмотрены вопросы по установлению грунтового фона эксплуатации землеройной техники по строительно-климатическим районам Кыргызской Республики с глубиной исследования до 5...6 м.

На основе статистической обработки паспортов грунтов, полученных по данным изысканий Кыргызгипроводхоза, института Кыргызавтодор-транспроекта, Управления геологии определены гистограммы распределения различных видов грунтов по строительно-климатическим районам Кыргызской Республики

На рис.1 представлена гистограмма распределения различных видов грунтов по территории Кыргызской Республики.

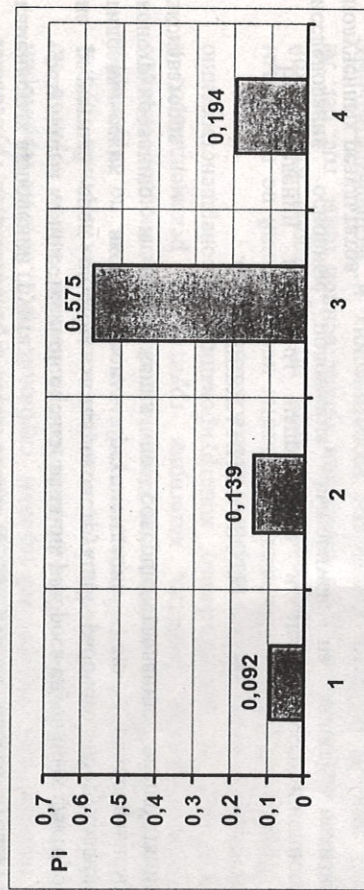


Рис.1. Гистограмма распределения различных видов грунтов в 6 м поверхностной толщи пород по территории Кыргызской Республики: 1 - скальные и полускальные; 2 - песчаные; 3 - глинистые; 4 - крупнообломочные

На основе статистической обработки физико-механических свойств грунтов установлены модели основных физико-механических свойств грунтов:

$$\omega_n = 0,05 + 3,3 \cdot 10^{-3} d^{1,2} \quad (1)$$

Зависимость (1) позволяет оценивать пластичность связанных грунтов по процентному содержанию глинистых частиц d размером меньше 0,005 мм.

Для зависимости угла внутреннего трения φ от показателя консистенции B_k после математической обработки получены:

$$\varphi_1 - \text{для глины}; \quad \varphi_2 - \text{для суглинков}; \quad \varphi_3 - \text{для супеси}; \quad (2)$$

$$\varphi_1 = 22,5 - 11,2 B_k, \quad \varphi_2 = 28,75 - 13,75 B_k, \quad \varphi_3 = 31,25 - 13,75 B_k.$$

Для оценки категорий грунтов по трудности разработки неоднородных грунтов с помощью методов множественной корреляции исследована корреляционная взаимосвязь между плотностью грунта X_1 , высотой расположения над уровнем моря X_2 , наличием каменных включений размером более 100 мм в грунте X_3 и удельным сопротивлением грунта колонию Y землеройными машинами. После проведенных расчетов получаем:

$$Y = 1 - 1,6X_1 + 0,19X_2 + 1,1X_3 - 0,21X_1X_2 - 1,2X_1X_3 - 0,88X_2X_3 + 0,29X_1X_2X_3 + 0,66X_1^2 + 0,15X_2^2 + 4,9X_3^2 \quad (3)$$

Коэффициент множественной корреляции $R_{кор} = 0,98189$ указывает на существенную тесную связь между удельным сопротивлением грунта колонию и плотностью грунта, наличием каменных включений в грунте, расположением над уровнем моря.

На основе полученной зависимости для удельного сопротивления грунта колонию, выявленных наиболее вероятных видов грунтов и их вероятных фракционных составов определена вероятностная группа грунтов по трудности разработки землеройными машинами по территории Кыргызской Республики.

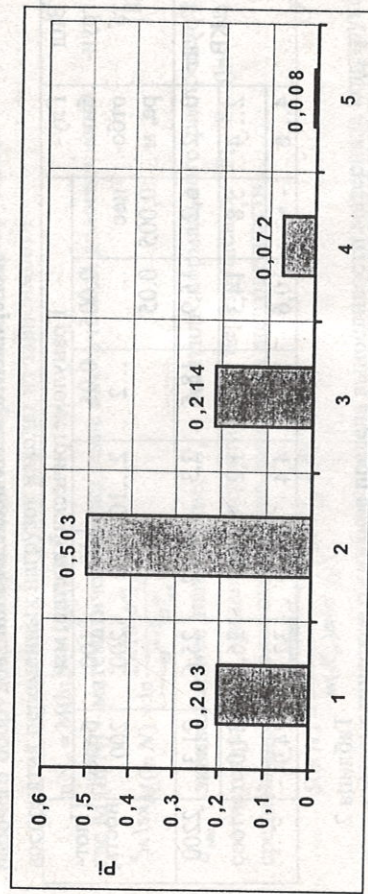


Рис.2. Гистограмма вероятностной группы грунтов по трудности разработки землеройными машинами по территории Кыргызской Республики: 1 - грунты II категории; 2 - грунты III категории; 3 - грунты IV категории; 4 - грунты V категории; 5 - грунты VI категории

Установленная вероятностная группа грунтов по трудности разработки по территории Кыргызской Республики позволяет более точно формировать состав парка землеройной техники, совершенствовать ее эксплуатацию.

В третьей главе изложены методика экспериментальных исследований нагруженности металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов 2-й размерной группы при разработке грунтов с каменными включениями с зубьями разной степени изношенности на ковше, а также методика исследований напряженного состояния и усталостной долговечности наиболее нагруженных локальных участков металлоконструкций рабочего

оборудования.

Для определения наиболее нагруженных локальных участков металлоконструкций рабочего оборудования и выявления истинных режимов нагружения в процессе работы с изношенными зубьями произведен статический расчет напряжений с применением ЭВМ, а также обследованы усталостные повреждения металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов в производственных условиях.

Изучение режимов нагружения и напряженного состояния на наиболее нагруженных локальных участках металлоконструкций рабочего оборудования производилось с помощью тензорезисторов, наклеенных в виде прямоугольных розеток. При этом погрешность результатов не превышала 7% с доверительной вероятностью 0,9.

Для определения влияния каменистых включений в грунтах, износа режущих элементов на нагруженность и усталостную долговечность металлоконструкций рабочего оборудования проведены экспериментальные исследования по определению нагруженности согласно табл.1 и 2.

Таблица 1
Характеристика грунта естественного залегания на месте проведения экспериментальных исследований

| Вид грунта | Глубина отбора, м | Гранулометрический состав, мм | | | | Плотность, кг/м ³ | | |
|------------|-------------------|-------------------------------|------|-----------|-----------|------------------------------|------|------|
| | | мелее 0,005 | 0,05 | 10... 200 | Более 200 | | | |
| Грунт с КВ | 0...2 | 6,2 | 15,9 | 2,3 | 10,2 | 25,6 | 21,3 | 2200 |
| | 2...4 | 5,8 | 14,3 | 1,2 | 8,6 | 26,8 | 24,0 | |
| | 4...6 | - | 10,6 | 4,4 | 9,3 | 32,6 | 24,9 | |

Таблица 2
Приведенные размеры износа зубьев ковша экскаватора ЭО-2621А

| № п.п | Состояние зубьев | Среднее значение износа зубьев ковша S, мм | | | |
|-------|----------------------|--|----------------|----------------|----------------|
| | | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ |
| 1. | Проектное | 1...5 | 1...5 | 1...5 | 1...5 |
| 2. | Среднеизношенное | 13...15 | 13...15 | 13...15 | 13...15 |
| 3. | Предельно изношенное | 25...30 | 25...30 | 25...30 | 25...30 |

Плоское напряженное состояние металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов в зависимости от сил сопротивлений грунта копанию характеризуется главными напряжениями $\sigma_{1,2}$ и максимальным касательным напряжением τ_{max} , определяемыми по одновременным показаниям

тензорозеток $\varepsilon_0, \varepsilon_{45}$ и ε_{90} :

$$\sigma_1 = \frac{E}{2} \left\{ \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{1 - \mu} + \frac{1}{1 + \mu} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{90})^2 + [2\varepsilon_{45} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90})]^2} \right\},$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{2} \left\{ \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{1 - \mu} - \frac{1}{1 + \mu} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{90})^2 + [2\varepsilon_{45} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90})]^2} \right\},$$

$$\tau_{max} = \frac{E}{2(1 + \mu)} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{90})^2 + [2\varepsilon_{45} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90})]^2} \quad (5)$$

где E — модуль упругости материала, μ — коэффициент Пуассона.

В дальнейшем они приводятся к приведенным напряжениям по выражению

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} - \sigma_1 \sigma_2. \quad (6)$$

Учитывая статистический разброс механических свойств металлических материалов и коэффициентов концентрации напряжений в металлоконструкциях рабочего оборудования, расчет циклической долговечности необходимо вести в вероятностном аспекте.

Циклическая долговечность локальных участков металлоконструкций рабочего оборудования при заданной вероятности разрушения P в условиях восприятия переменных нагрузок находят из зависимости

$$\ln N_p = M(\ln N) - U_p S(\ln N), \quad (7)$$

где M (ln N) — математическое ожидание циклической долговечности,

$$M(\ln N) = \ln \frac{2 \times 10^6 \sigma_{-1K}^m}{\alpha^{m/2} \sigma_{-1K}^m}, \quad (8)$$

σ_{-1K} — эквивалентное напряжение; U_p — квантиль нормального распределения, соответствующий заданной вероятности разрушения P; S (ln N) — среднеквадратическое отклонение логарифма долговечности,

$$S(\ln N) = \frac{m(m)(\sigma_{-1})}{m(K_{\sigma})m(\sigma_{-1K})} (\alpha V_{K\sigma}^2 + \beta)^{1/2}, \quad (9)$$

σ_{-1K} — математическое ожидание предела выносливости материала конструкции определяемое по методу Монте-Карло; $m(m)$ — математическое ожидание показателя угла наклона кривой усталости определяемое по методу Монте-Карло; $m(K_{\sigma})$ — математическое ожидание эффективного коэффициента концентрации напряжений определяемое по методу Монте-Карло.

В четвертой главе рассмотрены результаты экспериментального исследования нагруженности металлоконструкций рабочего оборудования экскаватора ЭО-2621А при разработке грунтов с каменистыми включениями с зубьями различной степени изношенности на ковше. Анализ осциллографических записей напряжений позволил выявить закономерности нагружения металлоконструкций рабочего оборудования при разработке грунтов с каменистыми включениями и определить характеристики напряженного состояния. Установлено, что напряженное состояние

металлоконструкций рабочего оборудования является, преимущественно, двухосным, его характеристики зависят от месторасположения локальных участков в металлоконструкции рабочего оборудования, изношенности зубьев и каменных включений в грунтах.

Наиболее нагруженными участками металлоконструкций рабочего оборудования экскаватора ЭО-2621А являются шарнирное крепление цилиндров рукояти и ковша, шарнирное крепление рукояти к стреле, а также сварные узлы шарнирных соединений.

Корреляционный и спектральный анализ режимов нагружения показал, что случайные процессы нагружения являются стационарными и эргодическими. При этом длительность регистрации при режиме нагружения с проектными зубьями должна быть не менее 350 с, с изношенными зубьями - не менее 450 с. Проверка закона распределения мгновенных ординат процессов нагружения с помощью критерия согласия Пирсона свидетельствует об их нормальном распределении.

Нормированные корреляционные функции процессов нагружения аппроксимируются выражением:

$$r = e^{-\alpha \tau} \cos \beta \tau, \quad (10)$$

где α и β - параметры, зависящие от вида корреляционной функции.

На основе корреляционной теории при этом выведена формула для определения эффективного периода процесса нагружения - параметра, необходимого для расчета срока службы по методу случайных функций

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{\alpha[\omega^4 - 2(\alpha^2 + \beta^2)\omega^2 - (\alpha^2 - \beta^2)^2](\omega^2 - (\alpha^2 - \beta^2))^{-1}}{\pi \omega[\omega^4 - 2(\alpha^2 - \beta^2)\omega^2 - (\alpha^4 + 2\alpha^2\beta^2 + 3\beta^4)]}}, \quad (11)$$

где ω - циклическая частота.

Для режимов нагружения при работе экскаваторов с разными зубьями на ковше определены коэффициенты α и β и эффективный период T_e (табл.3).

Анализ результатов расчетов показывает, что износ зубьев приводит к снижению эффективного периода нагружения, расчетного срока службы металлоконструкций рабочего оборудования и увеличению частоты колебаний напряжений.

В пятой главе рассмотрено влияние износа зубьев и наличия каменных включений в грунте на расчетный срок службы металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов.

Для автоматизированной оценки усталостной долговечности по методу выделения полных циклов режимов нагружения металлоконструкций рабочего оборудования разработана программа для расчета на ЭВМ, позволяющая значительно сократить время и трудоемкость расчета.

Из случайного процесса, представляющего собой дискретную последовательность цифр, выделяются только экстремальные значения без нарушения их естественной последовательности в исходном процессе. В дальнейшем экстремальные значения случайного процесса обрабатываются по

методу выделения полных циклов.

Таблица 3

Параметры, определяющие эффективный период для режимов нагружения металлоконструкций рабочего оборудования при работе экскаваторов с зубьями различной изношенности

| Состояние зубьев | Наименование металлоконструкции | α, c^{-1} | β, c^{-1} | T_e, c |
|----------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|----------|
| Проектное | Рукоять | 0,061 | 0,43 | 47,9 |
| | Стрела | 0,057 | 0,39 | 48,06 |
| Средне-изношенное | Рукоять | 0,073 | 0,51 | 45,17 |
| | Стрела | 0,068 | 0,47 | 45,07 |
| Предельно-изношенное | Рукоять | 0,08 | 0,57 | 43,74 |
| | Стрела | 0,072 | 0,48 | 42,07 |

Расчет усталостной долговечности металлоконструкций рабочего оборудования при разработке каменных грунтов с зубьями различной затупленности проведен методом непосредственной схематизации режимов нагружения по полным циклам с учетом двухосного напряженного состояния, остаточных напряжений и методом случайных функций.

На рис.3, 4 представлены графики изменения расчетных сроков службы локальных участков металлоконструкций рабочего оборудования, эквивалентного напряжения в зависимости от относительного изменения приведенного размера износа зубьев ковша.

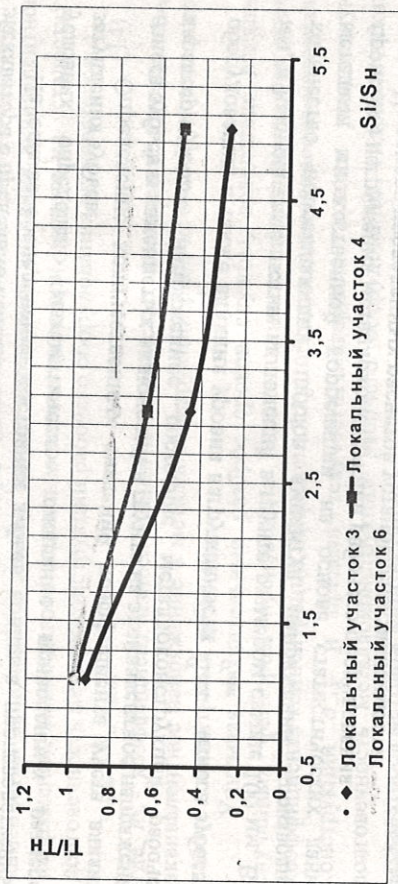


Рис.3. Графики относительного изменения расчетных сроков службы локальных участков металлоконструкций рукояти и стрелы при относительном изменении приведенного размера затупления зубьев

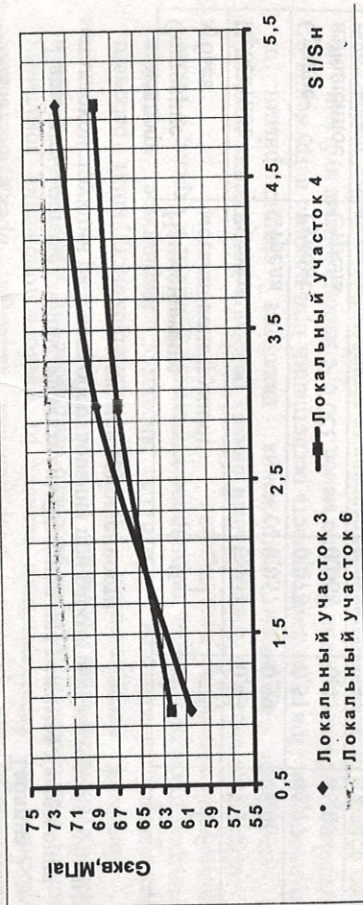


Рис. 4. Графики изменения эквивалентного напряжения при относительном изменении приведенного размера затупления зубьев

За основу принята нагруженность металлоконструкций при разработке каменных грунтов с проектными зубьями на ковше $S_H=1...5$ мм и соответствующая им усталостная долговечность локальных участков металлоконструкций T_H , соответственно S_i - зубья различной степени изношенности и T_i - соответствующая им усталостная долговечность локальных участков металлоконструкций. Наибольшее повреждающее воздействие на металлоконструкции рабочего оборудования оказывает работа экскаватора с предельно изношенными зубьями на ковше.

На основе обследования состояния зубьев ковша в производственных условиях определено математическое ожидание приведенных размеров затупления зубьев.

Определение количественных значений коэффициента учета влияния износа зубьев и каменных включений в грунте на эквивалентное напряжение, характеризующее напряженное состояние металлоконструкций рабочего оборудования, а также влияния уровня нагруженности $\frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}}$, износа зубьев S , мм, и наличия каменных включений в грунте размером свыше 100 мм, B на количество повреждающих циклов амплитуд напряжений производится методами множественной корреляции на основе статистических данных процессов нагружения металлоконструкций рабочего оборудования.

На основе проведенных расчетов установлены зависимости:

- для коэффициента учета влияния уровня нагруженности, износа зубьев и каменных включений в грунте на нагруженность и усталостную долговечность металлоконструкций рабочего оборудования:

$$K_H = 3,2 - 13 \left(\frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} \right) + 0,13S + 4,4B - 0,2 \left(\frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} \right) S - 5,7 \left(\frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} \right) B - 0,15SB + 0,23 \left(\frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} \right) SB + 15 \left(\frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} \right)^2 - 0,0069S^2 - 0,42B^2, \quad (12)$$

- для расчета количества повреждающих циклов амплитуд напряжений:

$$n_3 = \begin{cases} 0, & \text{если } \frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} < 0,38 \\ 1600 - 3000 \left(\frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} \right) - 140S - 1500B + 210 \left(\frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} \right) S + 3200 \left(\frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} \right) B + 210SB - 330 \left(\frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} \right)^2 + 0,27S^2 - 260B^2, & \text{при } 0,38 \leq \frac{\sigma_{-1np}}{\sigma_{-1k}} < 0,65 \end{cases} \quad (13)$$

Анализ результатов расчета показывает, что определена существенная корреляционная взаимосвязь между независимыми факторами: уровнем нагруженности, износом зубьев и каменными включениями и функцией отклика - эквивалентным коэффициентом, на основе которого множественной корреляции, равного 0,94154, который следует считать достаточно высоким. Наибольшее влияние на коэффициент учета влияния уровня нагруженности, износа зубьев и каменных включений оказывают уровень нагруженности $t_1=639,52$ и каменные включения в грунте $t_2=215,08$, относительно наименьшее влияние имеет износ зубьев. Коэффициент детерминации, равный 0,887, показывает, что влияние неучтенных факторов составляет всего лишь 0,113.

Таким образом, с помощью полученной зависимости, определяя коэффициент учета влияния уровня нагруженности, износа зубьев и каменных включений в грунте, можно определить значения эквивалентного напряжения, являющегося основным параметром при расчете на усталостную долговечность металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов:

$$\sigma_{Экв} = K_H \sigma_{Экв}, \quad (14)$$

где K_H - коэффициент износа зубьев и каменных включений грунта; $\sigma_{Экв}$ - эквивалентное напряжение в металлоконструкции рабочего оборудования при работе с проектными зубьями.

Учитывая значительный разброс сроков сроков службы, вследствие влияния случайных факторов произведена оценка влияния случайных факторов: коэффициента концентрации напряжений K_C , предела выносливости материала конструкции σ_{-1k} и предела текучести материала σ_T на усталостную долговечность металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов методом Монте-Карло.

На основании проведенных исследований, опираясь на логарифмически нормальный закон распределения циклической долговечности металлоконструкций рабочего оборудования экскаватора ЭО-2621А, рекомендуется статистическая модель для циклической долговечности

металлоконструкции рабочего оборудования при статистических колебаниях случайных факторов:

$$f(N) = \frac{1}{0,45\sqrt{2\pi N}} \exp \left[-\frac{(\ln N - 12,15)^2}{0,405} \right] \quad (15)$$

Основываясь на вышеприведенных зависимостях, предложены методика расчета металлоконструкций рабочего оборудования на усталостную долговечность гидравлических экскаваторов при разработке грунтов с каменистыми включениями с учетом износа зубьев ковша, а также рекомендации, направленные на снижение значения концентраторов напряжений в металлоконструкции рабочего оборудования и увеличения расчетного срока службы металлоконструкции рабочего оборудования гидравлических экскаваторов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Установлен грунтовый фон эксплуатации землеройной техники до глубины 5...6 м по территории Кыргызской Республики. Наиболее распространенными видами грунтов в 6-метровой поверхностной толще пород являются глинистые - с вероятностью $P=0,575$, песчаные - с вероятностью $P=0,139$, крупнообломочные и скальные с соответствующими вероятностями $P=0,194$ и $0,092$. Установлена вероятностная группа грунтов по трудности разработки их землеройными машинами на территории Кыргызской Республики: 0,203 составляют группы II категории, 0,503 - грунты III категории, 0,214 - грунты IV категории, 0,072 и 0,008 соответственно грунты V и VI категорий.

2. Получено аналитическое выражение для расчета эффективного периода процессов нагружения металлоконструкций рабочего оборудования при разработке каменистых грунтов с зубьями различной затупленности, необходимого параметра для расчета сроков службы по методу случайных функций.

3. Получена аналитическая зависимость для расчета количества циклов повреждающих амплитуд за единицу времени, являющаяся основным параметром при расчете срока службы металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов. Получен коэффициент, учитывающий влияние изношенности зубьев и каменистых включений в грунте для расчета эквивалентной амплитуды напряжений, значительно снижающей трудоемкость расчета срока службы металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов.

4. Теоретическими исследованиями установлено, что наиболее нагруженными локальными участками металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов при разработке грунта с каменистыми включениями являются участки: крепления цилиндров рукояти и ковша,

шарнирного крепления рукояти к стреле, сварные узлы шарнирных соединений. Напряженное состояние локальных участков металлоконструкций рабочего оборудования преимущественно является двухосным и зависит от степени изношенности зубьев, наличия галечниково-валунных включений в грунте и месторасположения в металлоконструкции.

5. Износ зубьев ковша на нагруженность металлоконструкций рабочего оборудования при разработке грунта с галечниково-валунными включениями влияет на следующие закономерности:

- увеличение приведенных размеров затупления зубьев до 25...30 мм вызывает повышение частоты колебаний напряжений на 30-45 %, а значения амплитуд напряжений на 10...15 %, снижает эффективный период процессов нагружения на 8...12 %;

- увеличение коэффициента вариации приведенных амплитуд напряжений на 10...15 %...

6. Разработана методика расчета металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов на усталостную долговечность, позволяющая оценить влияние износа зубьев, каменистых включений в грунте на нагруженность и усталостную долговечность металлоконструкций рабочего оборудования, выбрать наиболее нагруженные участки металлоконструкций стрелы и рукояти.

7. Установлено, что разброс случайных факторов от их математического ожидания отрицательно влияет на усталостную долговечность локальных участков. Так, при увеличении коэффициента вариации $V(K\sigma)$ концентратора напряжений до 0,2 при вероятности разрушения $P=0,95$ циклическая долговечность снижается на 90-100 %, а увеличение коэффициента вариации предела текучести и предела выносливости материала до 0,1 снижает циклическую долговечность на 45-50 %.

Экономический эффект от внедрения результатов работы составляет 9064,1 сом в год для одного гидравлического экскаватора 2-й размерной группы.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Тургунбаев М.С. Анализ грунтового фона Кыргызской Республики // Механизация строительства и совершенствование горных дорог: Сб. науч. трудов КАСИ. - Бишкек, 1997, с.64-68.
2. Тургунбаев М.С., Богубаев Н.С. Анализ конструкции крепления смонтированного элемента землеройных и горных машин // Механизация строительства и совершенствование горных дорог: Сб. науч. трудов КАСИ. - Бишкек, 1997, с.44-49.
3. Тургунбаев М.С. Грунтовые условия эксплуатации землеройных машин в северных регионах Кыргызской Республики // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Материалы научно-технической конференции - Алматы, 1998, с. 150-156.

4. Тургунбаев М.С., Тургунбаев Ж.Ж., Фролов И.О., Исаков К., Нурманбетов Н.Р. Анализ грунтового фона эксплуатации землеройных машин на территории Кыргызской Республики //Механизация и автоматизация строительства: Сб. науч. трудов КГУСТА. - Бишкек, 1998, с. 34-38.

5. Тургунбаев М.С., Тургунбаев Ж.Ж., Фролов И.О. Формирование моделей основных характеристик грунтового фона //Механизация и автоматизация строительства: Сб. науч. трудов КГУСТА. - Бишкек, 1998, с. 60-67.

6. Тургунбаев М.С., Тургунбаев Ж.Ж. Экспериментальное определение нагруженности металлоконструкций рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов в реальных условиях эксплуатации //Повышение эффективности транспортных, строительно-дорожных машин и оборудования в условиях высокогорья: Сб. научных трудов КГУСТА. - Бишкек, 1999, с. 12-17.

7. Тургунбаев М.С., Пономарева О.М., Рыспаева А.С. Результаты экспериментальных исследований нагруженности металлоконструкций рабочего оборудования гидравлического экскаватора ЭО-2621А при разработке гравийно-галечникового грунта //Повышение эксплуатационной эффективности транспортных, строительно-дорожных машин и коммуникаций в горных условиях: Материалы международной научно-практической конференции, ч.2. - Бишкек, 2001, с. 111-117.

8. Тургунбаев М.С. Статистическая модель усталостной долговечности металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов //Известия ОшГУ, 2001, № 2, с. 62-65.

9. Тургунбаев М.С. Оценка усталостной долговечности металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов //Сб. науч. тр. «Повышение эксплуатационной эффективности землеройно-транспортных машин в условиях высокогорья». - Бишкек: КГУСТА, 2002, с.165-172.

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ существующих методов расчета усталостной долговечности металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов.

Установлен грунтовый фон эксплуатации землеройной техники глубиной до 6 метров по территории Кыргызской Республики с распределением различных видов грунтов по уровням залегания с толщиной 2 м. Определена вероятностная группа грунтов по трудности разработки землеройными машинами по территории Кыргызской Республики, получены зависимости по моделям основных характеристик грунтового фона.

Установлены режимы нагружения металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов при разработке каменных грунтов с учетом износа зубьев и определены их статистические характеристики.

Получены аналитические зависимости для расчета количества циклов повреждающих амплитуд, являющиеся основным параметром при расчете срока службы металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов, коэффициенты, позволяющие учитывать влияние изношенности зубьев и каменных включений в грунте для расчета эквивалентной амплитуды напряжений.

Определены статистические модели циклической долговечности металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов при воздействии случайных факторов.

Разработана методика расчета металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов на усталостную долговечность с учетом каменных включений в грунтах и износа зубьев ковша.

На основе снижения значения коэффициентов концентрации напряжений разработаны рекомендации, направленные на повышение усталостной долговечности металлоконструкций рабочего оборудования гидравлических экскаваторов.

АННОТАЦИЯ

Жер чөлгичтердин жумушчу жабдык панзаткурамын узакка чарчоо чыдамдуулукка эсептөө усулдары талданган.

Кыргыз Республикасынын территориясы боюнча 6 м. терендиктеги жер казуучу техниканын эксплуатациялоо топурак фонун, жер казуучу машиналардын топурактарды иштетүү кыйынчылыгынын ыктымалдык группасы жана топурак фонунун негизги мүнөздөрүнүн моделдеринин көз карандылыктары табылган.

Гидравликалык жер чөлгичтердин жумушчу жабдык панзаткурамынын, ташуу топурактарды тиштери мокок чөмүч менен иштетүүдөгү чыңалгандык режимдери жана алардын статистикалык мүнөздөрү аныкталган.

Жер чөлгичтердин жумушчу жабдык панзаткурамынын иштөө мөөнөтүн эсептөөдө негизги параметр болгон зыян келтирүүчү амплитудалардын мерчимдер санын эсептөө аналитикалык көз карандылыктары, чыңалуунун эквиваленттик амплитудасын эсептөө үчүн, тиштердин мококтугун жана топурактардагы таштарды эске алуучу коэффициенттер алынган.

Жер чөлгичтердин жумушчу жабдык панзаткурамынын мерчимдик чыдамдуулугунун статистикалык моделдери аныкталган.

Жер чөлгичтердин жумушчу жабдык панзаткурамын, тиштердин мококтугун жана топурактардагы таштарды эске алып, узакка чарчоо чыдамдуулукту эсептөө усулдуу иштелип чыгарылган.

Чыңалуулардын концентрация коэффициенттерин төмөндөтүү негизинде гидравликалык жер чөлгичтердин жумушчу жабдык панзаткурамынын узакка чарчоо чыдамдуулугун жогорулатуу боюнча сунуштар иштелип чыгарылган.

ANNOTATION

The analysis of current methods of calculation the steel structure fatigue durability of the working equipment of excavators carried out.

Is established the exploitation soil background engineering in depth up to 6 meters on territories of the Republic of Kyrgyzstan with distribution of various kinds

of soils by levels of laying with thickness of 2 meters. Determined probability of soils by difficulties of its ground dig machine development on territories of the Republic of Kyrgyzstan, received relationship by models of soil background basic characteristics.

The modes of loading the steel structure of the working equipment of hydraulic excavators at the development of stony ground in taking into consideration of deterioration of dens and its statistical characteristics.

Received analytical relationship for calculation the damaging amplitudes cycles quantity which are the basic parameters at design of steel structure of excavators working equipment life service, coefficients allowing to take into account dens deterioration influence and stony inclusions in ground for design of equivalent stress amplitude.

Determined statistical cyclic models of steel structure of excavators working equipment durability at influence of random factors.

Developed methodic for design of steel structure of excavators working equipment for fatigue life service with taking into account ladle dens deterioration influence and stony inclusions in ground.

On the basis of decreasing the value of stress concentration coefficient developed recommendation directed on increasing of steel structure of hydraulic excavators working equipment fatigue life service.

ТУРГУНБАЕВ МЕЛИСБЕК СЫРГАБАЕВИЧ

НАГРУЖЕННОСТЬ И УСТАЛОСТНАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РАБОЧЕГО
ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАМЕНИСТЫХ
ГРУНТОВ С ИЗНОШЕННЫМИ ЗУБЬЯМИ КОВША

Автореферат диссертации

Тех. редактор *М.А. Назаркулова.*

Подписано к печати 13.03.2002 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.

Бумага офс. Печать офс. Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 109.

720044, Бишкек, ул. Сухомятина, 20.

ИЦ "Текник" КТУ. Т.: 42-14-55