Министерство образования и науки Украины

Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

На правах рукописи

Макаров Андрей Витальевич

УДК 624.042

ДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ, ИСПЫТАНИЯ И ДИАГНОСТИКА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ МОСТОВЫХ ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ

05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель Кулябко Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор

Днепропетровск - 2015

2

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

РАЗДЕЛ 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ВИДОВ МОСТОВЫХ ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ, МЕТОДИК ИХ РАСЧЕТОВ, ОБСЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ 13

1.1. История создания и применения мостовых кранов- перегружателей 13

1.2. Проектные нормативные материалы 17

1.3. Научные исследования нагруженности мостовых кранов- перегружателей 23

1.4. Обзор методик проведения экспериментальных натурных исследований 31

1.5. Выводы по разделу 1 33

РАЗДЕЛ 2. АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ, ПОВРЕЖДЕНИЙ И АВАРИЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ (ИЗ ОПЫТА НАТУР¬НОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ) 35

2.1. Классификация нагрузок 35

2.2. Основные виды повреждений металлоконструкций и аварий мостовых кранов-перегружателей 39

2.3. Оценка НДС конструкций крана при действии «условного статического» торможения тележки 47

2.4. Рекомендации по обследованию 50

2.5. Выводы по разделу 2 52

РАЗДЕЛ 3. ДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ КРАНОВ-ПЕРЕГРУЖАТЕ¬ЛЕЙ ПО РАЗВЕТВЛЁННЫМ МОДЕЛЯМ НА СОБСТВЕННЫЕ КО¬ЛЕБАНИЯ И ПОДВИЖНУЮ НАГРУЗКУ 54

3.1. Создание динамических разветвлённых моделей перегружателей и поверочные статические расчёты 54

3.2. Исследования собственных колебаний мостового крана- перегружателя решетчатой конструкции 60

3

3.2.1. Перегружатель с подвижно-шарнирным соединением моста и опоры 60

3.2.2. Перегружатель с жесткой конструкцией соединения опоры и моста 66

3.3. Особенности собственных колебаний мостового крана- перегружателя трубчато-балочной конструкции 68

3.4. Влияние различий коэффициента неупругого сопротивления в подсистемах на вынужденные колебания системы с нескольким степенями свободы 72

3.5. Анализ влияния вариантов усиления пролетного строения перегружателя трубчато-балочной конструкции на его частоты и формы его собственных колебаний 79

3.6. Теоретические исследования статико-динамического взаимодействия подвижной нагрузки тележки и конструкции моста крана во временной области (с применением дифференциальных уравнений) 81

3.6.1. Макет-аналог для упрощённых исследований основного тона вертикальных колебаний моста 83

3.6.2. Система с двумя степенями свободы (мост с тележкой).. 86

3.6.3. Моделирование динамического взаимодействия инерционного моста с инерционной движущейся тележкой ... 89

3.7. Выводы по разделу 3 93

РАЗДЕЛ 4. ИСЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИ¬СТИК КРАНА И ТЕЛЕЖКИ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ 95

4.1. Методика проведения экспериментов 95

4.2. Натурные динамические испытания крана-перегружателя трубчато-балочной конструкции 98

4.3. Сопоставление результатов экспериментальных и теоретических исследований 104

4

4.3. Выводы по разделу 4 107

РАЗДЕЛ 5. СОЗДАНИЕ УПРОЩЕННЫХ (ИНЖЕНЕРНЫХ) ДИНА-МИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ КРА¬НОВ-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ 109

5.1. Рекомендации по составлению упрощённых моделей перегружателей 109

5.2. Рекомендации по устройству дополнительных мероприятий, направленных на снижение амплитуд колебаний кранов-

перегружателей 116

Выводы по разделу 5 127

РАЗДЕЛ 6. ДИНАМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КРАНОВ И ЕЁ ИС-ПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ УСКОРЕННОГО ПОИСКА ПОВРЕЖДЕНИЙ, ПАСПОРТИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА 128

6.1. Рекомендации по проведению паспортизации сооружения 128

6.2. Методика составления «Атласа влияния повреждений на собственные частоты и формы» 132

6.3. Выводы по разделу 6 139

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ 140

ОБЩИЕВЫВОДЫ



ВдиссертационнойработенаоснованиипроведенногокомплексногоанализадинамическиххарактеристикпространственныхнесущихметаллоконструкциймостовыхперегружателейполученыновыерешенияважнойнароднохозяйственнойинаучнопрактическойзадачипроектированияиэксплуатациикрупныхдотэксплуатируемыхвтяжёлыхусловияхсрокслужбылетприпочтинепрерывныхрежимахработывесьмадорогостоящихкрановперегружателейМетодикирасчетовиспытанийидиагностикиоснованынаразвитиидинамическихрасчётныхмоделейкрананасвязичастотиформсобственныхколебанийкранасеговозможнымиповрежденияминасистематизациидинамическихнатурныхиспытанийатакжепредложенийподинамическойдиагностикеипаспортизациисооружения

Проведенныеисследованияпозволяютсделатьследующиевыводы

 СоставленнаяклассификациякрановперегружателейнагрузокособенностейэксплуатацииатакжеанализаварийметодикрасчетовобследованийииспытанийпозволиливыделитьважностьдинамическихвтчподвижныхнагрузокэксплуатационноготехнологическогоциклаоказывающегосущественноевлияниенатехническоесостояниестальныхконструкцийПроведенныйанализсобственныхивынужденныхколебанийпространственноймоделикранапривёлкновымвозможностямпрогнозированияповрежденийчтобылоподтвержденофактомналичиясоответствующихповрежденныхучастковконструкцийобнаруженныхпринатурныхобследованиях

 ИсследованиястатическойидинамическойнагруженностиимодальныйанализприпомощипрограммногокомплексасложноймногомассовойпространственнойстержневоймоделидвухкрановрешётчатогоитрубчатобалочноготиповчисленнымметодомМКЭпоказаличтоконструкцияэтихдвухкрановиположениегрейферной





тележкиневлияютнатипнизшейпродольногоризонтальнойформысобственныхколебанийсчастотойоколоГцВовторойформепроявляютсяпоперечногоризонтальныеколебанияизплоскостикранадлярешётчатогокранаприэтомпреобладаетизгибмостаГцдлятрубчатобалочногокранаизгибопорыГцВтретьейформенаблюдаютсяпоперечногоризонтальныеколебанияизплоскостикранадлярешётчатогокранаколебанияконсолейГцтрубчатобалочногоизгибмостаГцИлишьчетвертоеместосболеевысокочастотнымпроцессомзанялизгибмоставвертикальнойплоскостикрананачастотеГцдлярешётчатогоиГцдлятрубчатобалочногобольшинствоисследователейперегружателейранеесчиталиэтуформукакбыединственнойдостойнойвниманияЧастотасобственныхколебанийиформсущественнозависитотместарасположениягрейфернойтележкинамостукраначастотасобственныхколебанийкранаприустановкетележкинадопоройувеличиваетсяприблизительнона

Длянаглядностираспределенияиудобстваанализадолейстатическихидинамическихпараметровстальнойконструкциитрубчатобалочногокранабылприменёнметодпостроенияэпюрдинамическихкоэффициентовпоперемещениямприразныхрезонансныхформах

 ПредложенамодельмостакранадлярасчетавовременнойобластинаподвижнуюнагрузкусучётомстатикодинамическоговзаимодействияинерционныхконструкцийимостаперегружателяитележкиРазработанаметодикарасчетасиспользованиемсистемыкомпьютернойалгебрыприрешениидифференциальныхуравненийсовместныхколебаниймостаидвижущейсятележкиИсследовановремязатуханияпроцессастатическийидинамическийпрогибыУчтеноизменениемгновеннойчастотысобственныхколебанийсовместнойсистемыприрабочихскоростяхдокмчрасположениетележкиизменяетчастотунекоторыхформдо

 Проведеныэкспериментальныенатурныеисследованиявлияниярежимовдвиженияперегружателяитележкинадинамические





характеристикиметаллоконструкцийОбработанымногочисленныевиброграммыразличиетеоретическиопределённыхчастотсобственныхколебанийкранапочетыремнизшимформамисоответствующихрезультатовэкспериментапосвободнымколебаниямнепревышаетЛогарифмическийдекрементколебаниймостакранаоказалсяразнымдлякаждойформысобственныхколебанийинаходитсядлячетырехнизшихформвпределахэтотфактприрасчетахприпомощиМКЭобычнонеучитываетсячтоприводиткошибкеприанализевынужденныхколебанийНаибольшеевремяуменьшенияамплитудсвободныхколебанийвразвмоментустановкитележкивсерединепролетапригоризонтальнопродольнойформесоставляетсекундыапривертикальныхколебанияхсекундПовышеннаядлительностьпроцессазатухающихколебанийвреднадлястальныхконструкцийузловсконцентратаминапряженийприборовоборудованияимашиниста

 ИзвестночтопометодудинамическогоформообразованияоценкипараметровсобственныхколебанийнапредпроектнойстадииускоряютпроцессбезвыполненияполныхрасчетовнавсесочетаниянагрузокПредложенаметодикасоставленияинженерныхупрощённыхдинамическихмоделейперегружателядлярасчетовсобственныхивынужденныхколебанийдляпереходаотпространственноймногомассовоймоделиперегружателяксистемамимеющимотдостепенейсвободыЭтопозволяетконструкторунапримердобавлятьвподсистемыфрикционныеэлементыарасчетчикуучестьреальноеизэкспериментоввнешнеенелинейноетрениеразличноевкаждойподсистемеТакиемоделиудобныприрасчетахиконструированиидемпфирующихустройствснижающихамплитудыколебанийвибрационныхцикловкрана

ПринизшейизформколебанийнаиболеенагруженыэлементывместахсопряжениятрубыпролетногостроенияиопорыэквивалентныециклическиенапряжениядостигаютамплитудМПаЭтимколебаниямсоответствуетамплитудаперемещенияммначастотепорядкаГц





л

ускоренияприэтомдостигаютуровнямсдискомфортногодлядлительногопребывания машинистаБыларазработанасхема

демпфированияэтихколебанийиполученпатент№наполезнуюмодельсустройствомпреобразованиядвижения

 ПоказанокакприпомощиметодадинамическойдиагностикикаквариантанеразрушающегометодаконтроляможносущественноулучшатьэффективностьнатурногообследованиясвыявлениемпараметровНДСблизкихкаварийнымРазработанаформадинамическогопаспортаДлятрубчатобалочногокрана паспортсодержитрезультатынатурных

испытанийирасчётовТеоретическаячастьпаспортапозволяетоценитькакиесобственныеформыколебанийожидатьвэксплуатируемомкранеаэкспериментальнаячастьтекущегопаспортапомогаетвестидинамическиймониторингтехнического состоянияегометаллоконструкцийи

предотвращатьаварии

 РазработанаметодикапостроенияАтласавлиянияповрежденийнасобственныечастотыиформыпутёмусловноговыключенияопределенногоэлементаизработынапримеререшётчатогокранаЭтопозволяетпровестипоискместнекоторыхопасныхсиловыхконструкционныхповрежденийнесущихэлементовисократитьвремянапроведениеобследования

 НаучныеипрактическиеположенияизложенныевдиссертациимогутбытьиспользованыпроектнымиорганизациямислужбамиэксплуатациимостовыхперегружателейатакжеприразработкенормативнотехническойдокументацииРезультатыисследованийпринятывпроектнуюпрактикуОООПроектныйинститутДнепрпроектстальконструкцияПАОДнепровскийметаллургическийкомбинатимФЭДзержинскогоатакжевнедренывучебныйпроцессГВУЗПГАСиАприложениеА