

УДК 621.874

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРОЧНЫХ ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ**

©Губский С. А.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»***Информация про автора:**

Губський Сергій Олександрович: ORCID: 0000-0001-7797-9139; gubskiy@inbox.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри підйомно-транспортних машин та обладнання; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна.

Рассмотрено направление, которое позволит сократить время на проведение экспертизы грузоподъемных машин.

Использованы научные исследования и разработки ведущих организаций и специалистов в области краностроения, а также нормативно-технические документы по расчету крановых конструкций.

Разработана компьютерная программа «Crane», которая позволяет проводить прочностные расчеты металлоконструкций мостовых кранов. В ее основу заложен алгоритм прочностных расчетов металлоконструкций мостовых кранов по предельным состояниям.

Применение программы «Crane» позволит автоматизировать и упростить прочностные расчеты металлоконструкций мостовых кранов. Нарботана база с 95 расчетов.

Ключевые слова: металлоконструкция; мостовой кран; предельное состояние; расчет; программа.

Губський С. О. «Автоматизація розрахунків на міцність металоконструкцій мостових кранів».

Розглянуто напрямки, який дозволить скоротити час на проведення експертизи вантажопідіймальних машин.

Використано наукові дослідження і розробки провідних організацій і фахівців в області кранобудування, а також нормативно-технічні документи щодо розрахунку кранових конструкцій.

Розроблено комп'ютерну програму «Crane», яка дозволяє проводити розрахунки на міцність металоконструкцій мостових кранів. В її основу закладено алгоритм розрахунків на міцність металоконструкцій мостових кранів по граничним станам.

Застосування програми «Crane» дозволить автоматизувати і спростити розрахунки на міцність металоконструкцій мостових кранів. Напрацьована база з 95 розрахунків.

Ключові слова: металоконструкція; мостовий кран; граничний стан; розрахунок; програма.

Gubskiy S. “Automation of strength calculations of a metal work of bridge cranes”.

The direction which will allow to reduce time for carrying out examination of load-lifting cars is considered.

Scientific researches and development of the leading organizations and experts in the field of a crane structure, and also normative and technical documents by calculation of crane designs are used.

The computer Crane program which allows to carry out strength calculations of a metalwork of bridge cranes is developed. In its basis the algorithm of strength calculations of a metalwork of bridge cranes for limit states is put.

Піднімально-транспортні машини

Application of the Crane program will allow to automate and simplify strength calculations of a metalwork of bridge cranes. The base from 95 calculations is acquired.

Keywords: metal construction; bridge crane; limit state; calculation; program.

1. Постановка проблемы

Современный рынок экспертизы грузоподъемных машин (далее ГПМ) требует быстроты выполнения работ с наименьшими затратами. Все это вызвано большой конкуренцией в данной сфере. Еще десять лет назад работа по техническому диагностированию и экспертизе ГПМ оценивалась на 0,5-1 порядка выше, чем сейчас. При этом объем и сложность работ, не только не изменились, но еще и увеличились.

В некоторых случаях работы, выполняемые при экспертизе ГПМ, требуют выполнения проверочных прочностных расчетов металлоконструкций. Например, при восстановлении паспорта ГПМ. Современная компьютерная техника позволяет в некоторой мере автоматизировать прочностные расчеты крановых металлоконструкций и тем самым уменьшить затраченное время на этот этап работ. Поэтому, разработка компьютерных программ с заложенным алгоритмом прочностных расчетов есть актуальной задачей.

2. Анализ последних исследований

На сегодня существуют такие системы расчетов крановых металлоконструкций: по допускаемым напряжениям [1]; система вероятностных расчетов [2]; по предельным состояниям [3]. По каждой системе расчетов есть наработанные компьютерные программы, которые позволяют автоматизировать прочностные расчеты металлоконструкций ГПМ. Но из-за сложности интерфейса, узкой направленности, малой практической апробации – они не получили широкого распространения.

Также сегодня получил широкое развитие при прочностных расчетах крановых металлоконструкций – метод конечных элементов [4]. Но он требует значительных затрат времени и не позволяет автоматизировать прочностные расчеты в связи с большой разнообразностью несущих конструкций ГПМ.

3. Основной материал

В практической работе технических экспертов при оценке технического состояния металлоконструкции крана с последующим определением ее эксплуатационной пригодности, необходимо выделять следующие факторы: это статическая и усталостная прочность, трещиностойкость, устойчивость и жесткость,

Для оценки каждого фактора экспертам и специалистам по неразрушающему контролю приходится принимать во внимание и исследовать следующие показатели: коэффициенты запаса прочности и структуру металла (для статической прочности); характеристическое число (для усталостной прочности); учет местных и общих деформаций (по деформативности); наличие и скорость роста трещин (для трещиностойкости).

При этом должна учитываться конструкция крана и должен быть обеспечен дифференциальный подход для каждого типа кранов.

Определяя остаточную статическую прочность, необходимо проводить и практические расчеты, аналогично расчетам, которые выполняются при проектировании металлоконструкций кранов в соответствии с нормативной документацией.

Основное отличие указанных расчетов состоит в том, что в них должны быть учтены действительные ослабления металлических конструкций, коррозия, износ, технологические вырезы в элементах и т.п.

Нами разработана компьютерная программа «Crane», которая позволяет проводить прочностные расчеты металлоконструкций мостовых кранов с фактическими геометрическими параметрами [5]. Использованы научные исследования и разработки ОАО «ВНИИПТмаш» (г. Москва), Харьковского завода «Подъемно-транспортного оборудования», Уральского экспертно-технического центра (г. Екатеринбург), ведущих специалистов в области краностроения Гохберга М. М., Зарецкого А. А., Короткого А. А., Соколова С. А. и др., а также нормативно-технические документы по расчету крановых конструкций: РТМ 24.090.54-79, ОСТ 24.090.22-83, СТО 24.09-5821-01-93, ОСТ 24.090.63-87.

В основу программы «Crane» положен алгоритм расчета металлоконструкций мостовых кранов по предельным состояниям:

– условие 1-го предельного состояния характеризуется исчерпанием несущей способности материала по статическим характеристикам

$$\sigma_{max} \leq R \cdot \gamma, \quad (1)$$

где σ_{max} – максимальное расчетное напряжение (интенсивность напряжений), определяемое с учетом геометрических показателей материала, МПа; R – расчетное сопротивление материала, МПа; γ – коэффициент условий работы расчетного элемента.

– условие 2-го предельного состояния характеризуется исчерпанием несущей способности материала по сопротивлению многократно действующим нагрузкам

$$\sigma_{max} \leq R^o \cdot \gamma_c, \quad (2)$$

где R^o – расчетное сопротивление усталости, определяемое с учетом характера действия циклической нагрузки, МПа.

– условие 3-го предельного состояния характеризуется наступлением деформаций, положение которых препятствует нормальной эксплуатации крана за счет снижения точности работы или возникновения возможности непроизвольного перемещения грузовой тележки или приводит к возникновению недопустимых по критериям первого или второго предельного состояния силовых факторов

$$\bar{Y}_{cm} \leq [\bar{Y}_{cm}]; t_{затух} \leq [t_{затух}], \quad (3)$$

В качестве исходных данных (помимо геометрических параметров и весовых характеристик узлов металлоконструкции) при расчетах учитывается – режим работы крана, предельное значение расчетных сопротивлений, коэффициент запаса прочности в зависимости от режима нагружения, коэффициенты динамических нагрузок, перекосов при движении крана от внезапных отказов электродвигателей трансмиссий и др.

По данным расчета с применением алгоритма и программы расчета получаем схемы усилий:

Піднімально-транспортні машини

— для главных и концевых балок от равномерно распределенных расчетных нагрузок, от сосредоточенных расчетных нагрузок, от подвижных статически приложенных нагрузок с суммарными вертикальными и горизонтальными усилиями, а также скручивающие нагрузки.

На основании расчета производится проверка местной устойчивости вертикальных стенок главных балок и т.д.

Основные результаты расчета сводятся в таблицу с указанием предельных и расчетных нагрузок для условий 1-го, 2-го и 3-го предельного состояний (рис. 1).

Основные результаты расчета. Кран КМ12504

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ		
ПОКАЗАТЕЛЬ	ПРЕДЕЛ	РАСЧЕТ
Отношение - ВЫСОТА БАЛКИ / ПРОЛЕТ "H / Lk"	1/14...1/18	1/17.68
Отношение - ШИРИНА БАЛКИ / ПРОЛЕТ "b / Lk"	1/50	1/45.31
Отношение - ВЫСОТА / ШИРИНА "H / b"	3	2.56
"Jy1 (сеч №1 конц.б.) = Jy (оп.сеч. пл.б.)"	Jy1=350033.01	Jy=453000.53
ГЛАВНАЯ БАЛКА		
<i>Козф. толчков (перезрузки) для верт. равномерн. распред. весовой нагрузки NT=1.20</i>		
<i>Козф. перезрузки для вертикальной подвижной нагрузки MO=1.40</i>		
ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНИЯ УСЛОВИЙ 1-ГО, 2-ГО, 3-ГО ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ		
1.Интенс. напряж. в углов. точке верхн. пояса (кг/см ²)	1720.0000	3327.7931
1.Суммарн. касат.напряж. в опорн.сечении (кг/см ²)	1080.0000	512.3266
2.Проверка на усталость $R_{VVS} \geq G_{max}$	2789.8592	2717.3876
3.Прогиб главной балки (Lk/Fex=2900.0/800.0), см	3.6250	7.9188
3.Время затухания колебаний (сек)	15.0000	10.32
РЕЛЬС		
Напряжение в рельсе (кг/см ²)	2700.0000	4013.9319
СВАРКА		
Прочность поясных сварных швов (кг/см ²)	1080.0000	345.1100
Прочность стыковых сварных швов (кг/см ²)	1080.0000	749.9911
МЕСТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕНОК		
Средний отсек (верх.пластина)	0.9000	1.6832
Средний отсек (нижн.пластина)	0.9000	0.0000
Опорный отсек (верх.пластина)	0.9000	0.2984
РАСЧЕТ ДИАФРАГМ		
Нормал.напряж. диафрагм от изгиб (верх.) (кг/см ²)	1720.0000	25520.4173
Нормал.напряж. диафрагм от изгиб (низ) (кг/см ²)	1720.0000	48983.9651
Нормал.напряж. диафрагм от смятия (кг/см ²)	2580.0000	3630.6502
КОНЦЕВАЯ БАЛКА		
Привед. напряж. в верх. поясе, сеч. № 1 (кг/см ²)	2900.00	0.72
Привед. напряж. в верх. поясе, сеч. № 2 (кг/см ²)	2900.00	1165.36
Привед. напряж. в верх. поясе, сеч. № 3 (кг/см ²)	2900.00	1185.95
Касательное напряж. в стенке, сеч. № 1 (кг/см ²)	1161.00	1784.50
Касательное напряж. в стенке, сеч. № 2 (кг/см ²)	1161.00	1777.96
Касательное напряж. в стенке, сеч. № 3 (кг/см ²)	1161.00	-5.46

Рис. 1 – Итоговая таблица расчетов программы Crane

На рис. 1 даны результаты проверочного расчета металлоконструкции крана КМ12504 производства ХЗ «ПТО» (г. Харьков) с учетом коррозии металла Главных балок и неудовлетворительного состояния подкранового пути. В результате обследования (в т.ч. прочностных расчетов с помощью программы «Crane») даны рекомендации – провести усиление конструкции по предварительно разработанному проекту специализированной организацией.

Все сделанные расчеты сохраняются в отчетную документацию (базу) для последующей распечатки и хранения. Данную базу программы можно дополнять и обновлять с других программ «Crane» установленных на других компьютерах. На данный момент в базе программы уже внесено более 95 единиц мостовых кранов (рис. 2).

Наработанная база мостовых кранов позволяет подбирать нужный кран (подобный) уже с наработанной базы программы и производить необходимые расчеты. Программа «Crane» также позволяет производить расчеты не новой конструкции, а фактической, со всеми фактическими геометрическими параметрами (например, с учетом коррозии).

Выводы

Разработанная программа «Crane» (уже наработана база с 95 расчетов кранов) позволяет: сократить время на паспортизацию ГПМ; автоматизировать проверочные прочностные расчеты фактической металлоконструкции мостовых кранов; предварительно оценить возможность реконструкции крана с целью увеличения его грузоподъемности по прочностным возможностям его металлоконструкции.

Піднімально-транспортні машини

Программа «Crane» является проверочной, т.е. выполняется расчет на прочность уже существующей металлоконструкции. Автоматизация расчета при проектировании крановой металлоконструкции, является перспективой развития данной программы.

РАСЧЕТ МОСТОВОГО КРАНА									
ВВОД И ИСПРАВЛЕНИЕ ДАННЫХ		УДАЛИТЬ КРАН		ПРОИЗВЕСТИ РАСЧЕТ		ПОМОЩЬ		ПРЕДЕЛЫ	
№№	Наименование	Грузоподъемность	Пролет крана Lк	Скорость передвижения	База крана Вк, см	Длина концевой балки	База тележки Вт	Колея тележки Кт	Создан
3	KM12504	125000.00	2900.00	1.25	661.00	723.00	470.00	560.00	20.05.05
4	KM5472	64000.00	3400.00	1.85	965.00	1136.00	345.00	770.00	04.08.04
5	KM5473	50000.00	4000.00	1.85	875.00	933.00	345.00	770.00	01.03.04
6	KM12504	125000.00	2900.00	1.25	661.00	723.00	470.00	560.00	11.07.04
7	KM12506	125000.00	2700.00	1.30	710.00	1017.20	470.00	500.00	13.07.04
8	KM12507	125000.00	3300.00	1.30	500.00	1075.00	470.00	500.00	22.04.04
9	KM12505	125000.00	3300.00	1.30	770.00	1075.00	470.00	560.00	11.07.04
10	KM5468	50000.00	4000.00	1.60	525.00	583.00	345.00	420.00	24.03.04
11	KM8001	80000.00	2850.00	1.25	795.00	920.00	460.00	480.00	23.05.04
12	KM8001	80000.00	2850.00	1.25	795.00	920.00	460.00	480.00	23.05.04
13	KM12506	125000.00	2700.00	1.30	710.00	1017.20	470.00	500.00	13.07.04
14	KM5472тр	64000.00	3400.00	1.85	965.00	1136.00	345.00	770.00	04.08.04
15	KM10001.010	100000.00	2700.00	1.10	880.00	938.00	255.00	630.00	10.08.04
16	KM10001.020	20000.00	2520.00	1.25	210.00	408.00	210.00	210.00	09.08.04
18	KM10001.030	100000.00	2700.00	1.10	880.00	938.00	255.00	630.00	10.08.04
19	КГ1014	10000.00	2200.00	0.70	500.00	620.00	425.00	250.00	16.12.04
20	KM3778	32000.00	4000.00	1.76	890.00	1136.00	230.00	730.00	10.04.05
21	KM37781	32000.00	4000.00	1.76	890.00	1136.00	230.00	730.00	10.04.05
22	KM37782	32000.00	4000.00	1.76	890.00	1136.00	230.00	730.00	11.04.05
23	KM37783	32000.00	4000.00	1.76	890.00	1136.00	230.00	730.00	13.04.05
24	KM5461	55600.00	3400.00	1.85	948.00	1136.60	345.00	770.00	13.04.05
25	KM37784	32000.00	4000.00	1.76	890.00	1136.00	230.00	730.00	17.04.05
26	KM12510	120000.00	3100.00	1.30	710.00	1017.20	470.00	500.00	26.09.05
27	KM12510	120000.00	3100.00	1.30	710.00	1017.20	470.00	500.00	29.09.05
28	KM12507	125000.00	3300.00	1.30	500.00	1075.00	470.00	500.00	03.10.05
29	KM12510	120000.00	3100.00	1.30	710.00	1017.20	470.00	500.00	03.10.05
0%									Time

Рис. 2 – Главное окно программы Crane с наименованием некоторой части кранов, которые внесены в ее базу и просчитаны

Список использованных источников:

1. Гохберг М. М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / М. М. Гохберг. – Л. : Машиностроение, 1976. – 456 с.
2. Брауде В. И. Системные методы расчета грузоподъемных машин / В. И. Брауде, М. С. Тер-Мхитаров. – Л. : Машиностроение, 1985. – 232 с.
3. Соколов С. А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: учеб. пособие / С. А. Соколов. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.
4. Немчук А. О. Оценка работоспособности крановых металлоконструкций на основе численных методов / А. О. Немчук, М. А. Стариков // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2006. – № 7. – С. 30–31.
5. Свідомство про реєстрацію авторських прав № 47890. Комп'ютерна програма «Розрахунок металокопструкції мостового крана» («Crane») / С. О. Губський, А. О. Окунь. – Реєстрація 19.02.2013.

References

1. Gokhberg, M 1976, *Metallicheskie konstruksii pod"emno-transportnykh mashin*, Mashinostroenie, Leningrad.
2. Braude, V & Ter-Mkhitarov, M 1985, *Sistemnye metody rascheta gruzopodemnykh mashin*, Mashinostroenie, Leningrad.
3. Sokolov, S 2005, *Metallicheskie konstruksii podemno-transportnykh mashin*, Politehnika, Sankt-Peterburg.
4. Nemchuk, A & Starikov, M 2006, 'Otsenka rabotosposobnosti kranovykh metallokonstruktsiy na osnove chislennykh metodov', *Podemnye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika*, no. 7, pp. 30-31.
5. Gubskiy, S & Okun, A 2013, *Kompiuterna prohrama «Rozrakhunok metalokonstruktsii mostovoho kрана» («Crane»)*, UA Patent 47890.

Стаття надійшла до редакції 14 жовтня 2014 р.