ВЕСТНИК ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

ISSN 2519-2817 online
Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства
Выпуск 2020-6(146)

УДК 621.86

Т. В. ЛУЦКО, О. О. БОРТНИКОВ, А. Г. ЛЕГЕЗИН, В. В. САПЫЧЕВ
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ СТРЕЛЫ АВТОГИДРОПОДЪЕМНИКА ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы обеспечения прочностных характеристик металлоконструкции стрелы автогидроподъемника при увеличении зоны обслуживания. На основании анализа конструктивных особенностей стрелового оборудования автогидроподъемников определены основные тенденции развития данной грузоподъемной техники. Предлагается верхнюю стрелу коленчатого подъемника выполнить с телескопически выдвигаемой секцией, что позволит увеличить высоту подъема люльки. Выполнен численный анализ напряженно-деформированного состояния основной и модернизированной стрелы подъемника в программной среде Компас-3D APM FEM: Прочностной анализ. По результатам нагружений подъемника выявлены наибольшие концентрации напряжений и максимальные деформации в стреле. Выполнен анализ влияния расстановки диафрагм на изгибную прочность стрелы. Определены рациональные параметры верхней стрелы с телескопически выдвигаемой секцией.

Ключевые слова: автогидроподъемник, диафрагма, металлоконструкция, нагружение, напряженно-деформированное состояние, стрела.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Автогидроподъемники используются в различных отраслях: в строительстве, сельском и коммунальном хозяйстве. В последнее время они стали широко применяться на объектах ветроэнергетики. Связано это с тем, что основной тенденцией развития данной техники является повышение высоты подъема. Кроме этого, в настоящее время автогидроподъемники отличаются большим разнообразием рабочего (стрелового) оборудования, которое, помимо традиционных схем коленчатых, телескопических и коленчато-телескопических, отличается дополнительными модификациями такими, как поворот люльки, оснащение дополнительным оборудованием для пожаротушения и т. д. [1].

В связи с этим ставится задача расширения зоны обслуживания автогидроподъемника за счет модернизации уже существующих конструкций стрелового оборудования. При этом необходимо обеспечить требования по прочности и устойчивости стрелы, а также соблюдение условий грузовой устойчивости подъемника.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В автогидроподъемниках применяются коробчатые стрелы. Такие же типы стрел характерны для автомобильных кранов, кранов-манипуляторов, экскаваторов. Исследования стрелового оборудования направлены прежде всего на оптимизацию их параметров с позиций уменьшения металлоемкости и на расширение их функциональных возможностей как самого стрелового оборудования, так и машины в целом [2–5]. Предлагается дооборудовать верхнюю стрелу подъемника телескопической секцией с целью увеличения зоны обслуживания. Особенностью настоящей работы является учет влияния расстановки диафрагм в стреле на прочностные характеристики металлоконструкции.

Целью настоящего исследования является определение рациональных параметров стрелы подъемника, оснащенной телескопической секцией, обеспечивающей расширение зоны обслуживания.

© Т. В. Луцко, О. О. Бортников, А. Г. Легезин, В. В. Сапычев, 2020

Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи:

1. Моделирование в программном комплексе Компас-3D основной стрелы и стрелы, дооборудованной телескопически выдвижной секцией коленчатого автогидроподъемника.

2. Численный анализ напряженно-деформированного состояния основной стрелы и стрелы с телескопической секцией на основании прочностных расчетов в программной среде APM FEM в Компас-3D.

3. Разработка рекомендаций по модернизации стрелового оборудования автогидроподъемника.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В качестве объекта рассмотрения был принят коленчатый автогидроподъемник ПГ-22 со следующими техническими характеристиками: 1) грузоподъемность 250 кг; 2) максимальный вылет 10,5 м (при высоте подъема 11 м); 3) максимальная высота подъема 22 м.

На рисунке 1 показана зона обслуживания базовой модели подъемника ПГ-22 и модернизированного подъемника с телескопически выдвигаемой секцией верхней стрелы. Как видно из рисунка 1, зона обслуживания подъемника очерчивается тремя положениями люльки: I положение – поднята в рабочее положение только верхняя стрела, II положение – максимальный вылет люльки, III положение – максимальная высота подъема люльки. Предлагается рассмотреть – насколько можно увеличить высоту подъемника при обеспечении требований по прочности металлоконструкции стрелы и грузовой устойчивости машины. Предварительный расчет грузовой устойчивости базовой модели подъемника ПГ-22 показал, что у него достаточный запас – коэффициент грузовой устойчивости при статических испытаниях составил 3,05. Это дает основания для увеличения высоты подъема на 2,5 м,

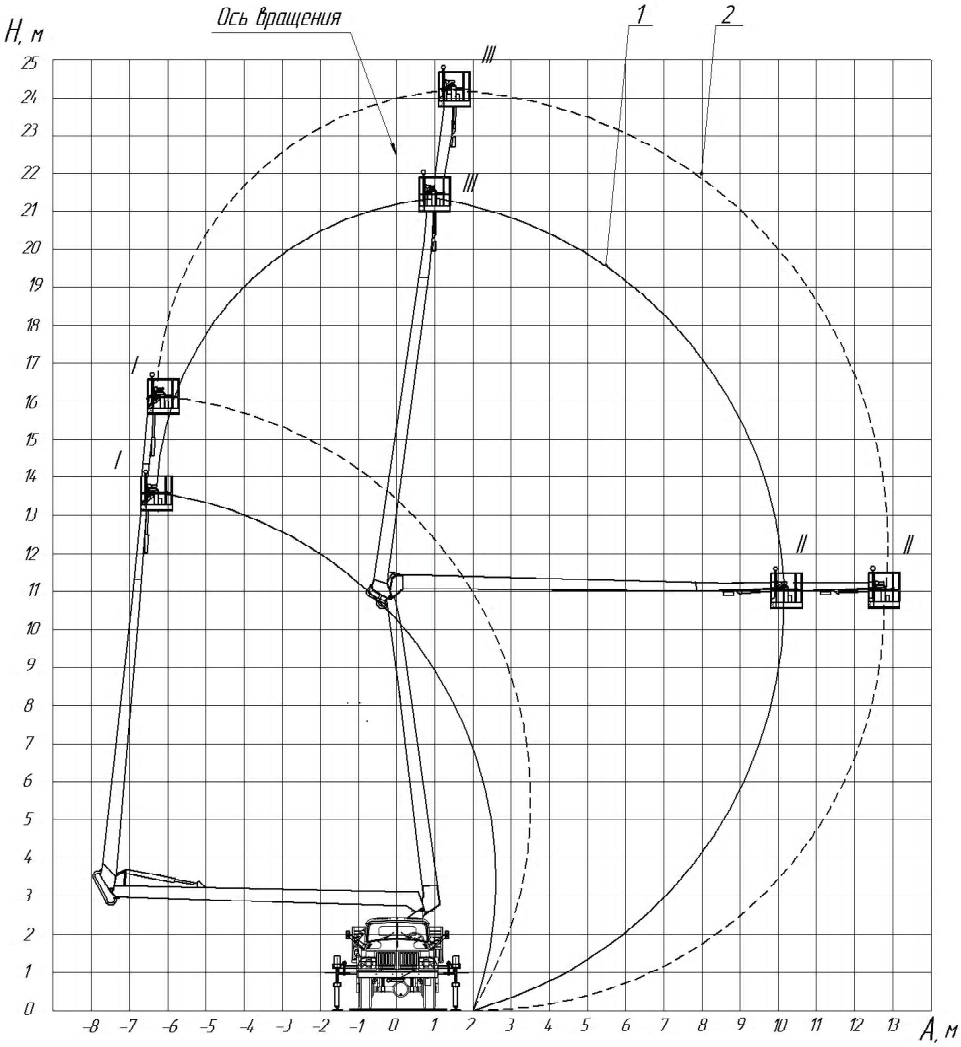

Рисунок 1 – Зоны обслуживания автогидроподъемников: 1 – ПГ-22; 2 – ПГ-24 с телескопической секцией.

ISSN 2519-2817 online
Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

при этом запас грузовой устойчивости, безусловно, снижается, но не превышает допускаемых значений. В результате зона обслуживания увеличится приблизительно на 30 %.

В настоящей работе остановимся на анализе прочностных характеристик металлоконструкции стрелового оборудования при увеличении высоты подъема.

Максимальный опрокидывающий момент соответствует положению люльки на максимальном вылете (рисунок 1 – положение II). В настоящем исследовании рассматривается именно это положение верхней стрелы и учитываются весовые нагрузки от стрелы, люльки и поднимаемого груза, действующие на верхнюю стрелу. При статических испытаниях подъемников поднимается груз 1,5Q, где Q – паспортная грузоподъемность. В связи с этим нагружение осуществляется с учетом перегруза и составляет 375 кг. Кроме этого, поскольку учитывается вес люльки 150 кг, то общая нагрузка будет 525 кг.

На базовой модели ПГ-22 верхняя стрела коробчатая, состоящая из двух полукоробов и имеющая 5 диафрагм, установленных с определенным шагом по длине стрелы, размеры поперечных сечений и диафрагмы в корневой части стрелы показаны на рисунке 2. Материал металлоконструкции – сталь 09Г2С.

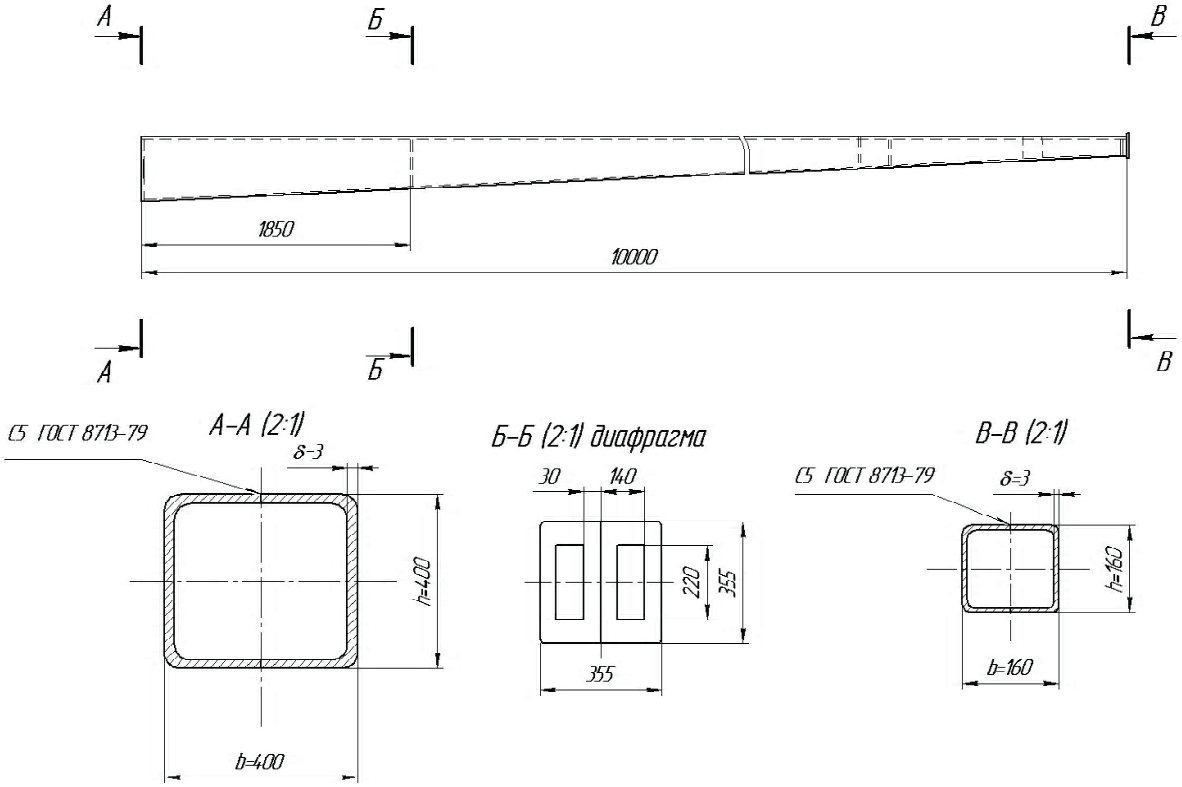

Рисунок 2 – Верхняя стрела подъемника ПГ-22.

Как было сказано выше, принимается модернизированная верхняя стрела с дополнительной телескопической секцией длиной 2,5 м, то есть при полностью выдвинутой секции общая длина стрелы составит 12,5 м, при этом увеличивается вылет люльки до 13 м и максимальная высота подъема люльки до 24,5 м (обозначим модернизированный подъемник, как ПГ-24).

Выполнено моделирование верхних стрел базового и модернизированного подъемника в программном комплексе Компас-3D и проведен прочностной анализ в среде APM FEM. При моделировании меняли толщину диафрагм 3 и 4 мм, а также шаг расстановки диафрагм (или их количество 5, 6, 7). В результате получили следующее:

1. В первоначальном варианте на стрелах было установлено 5 диафрагм толщиной 3 мм, в итоге при нагружении грузом 525 кг максимальные напряжения возникают на диафрагме в оголовке стрелы, которые составили 79,75МПа для стрелы длиной 10 м и 173,3 МПа для стрелы длиной 12,5 м с дополнительной секцией (рисунок 3).

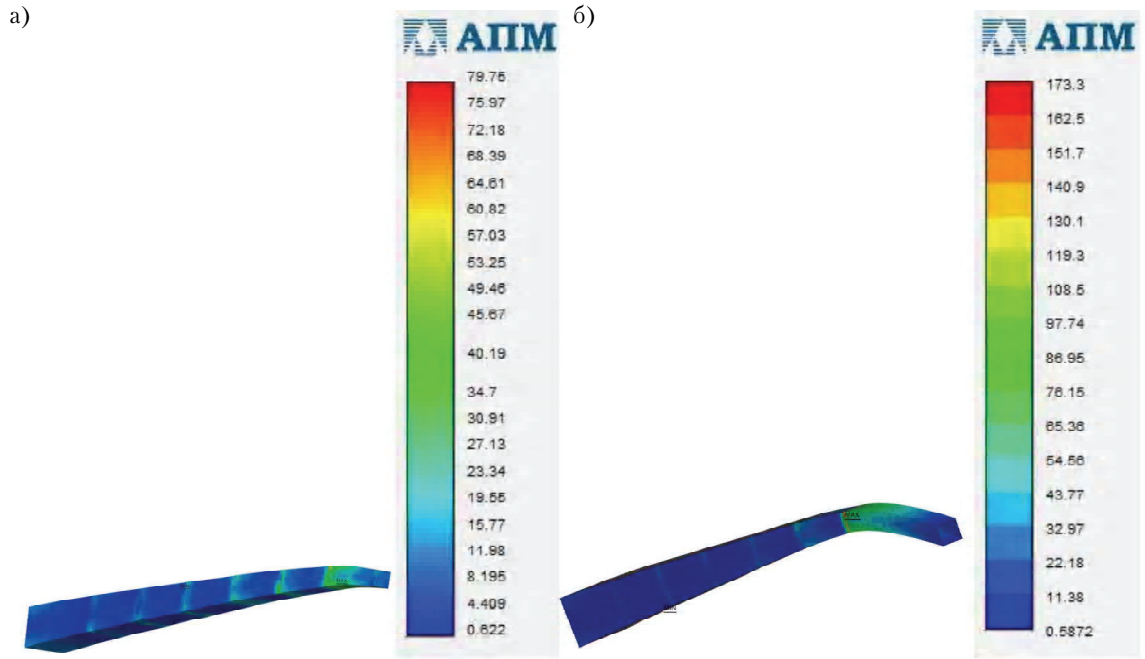

Рисунок 3 – Карты напряжений (МПа) в стреле 10 м (а) и в стреле 12,5 м (б).

2. Расчет деформаций показал, что максимальный прогиб возникает на конце стрелы и составляет для стрелы 10 м – 9,432 мм, а стрелы с дополнительной секцией 2,5 м – 29,59 мм (рисунок 4). Полученные результаты не превышают допускаемых значений по РД 10-112-2-09 для крановых стрел в рабочем положении в плоскости стрелы – f/L (f – прогиб, L – длина стрелы) [6].

3. Поскольку запас прочности составил для стрелы 12,5 м – 1,53, то следующий этап моделирования заключался в увеличении секции до 3 м, однако результаты расчета показали увеличение напряжений до 215 МПа и максимального прогиба до 42,54 мм, запас прочности снизился до 1,23. Поэтому

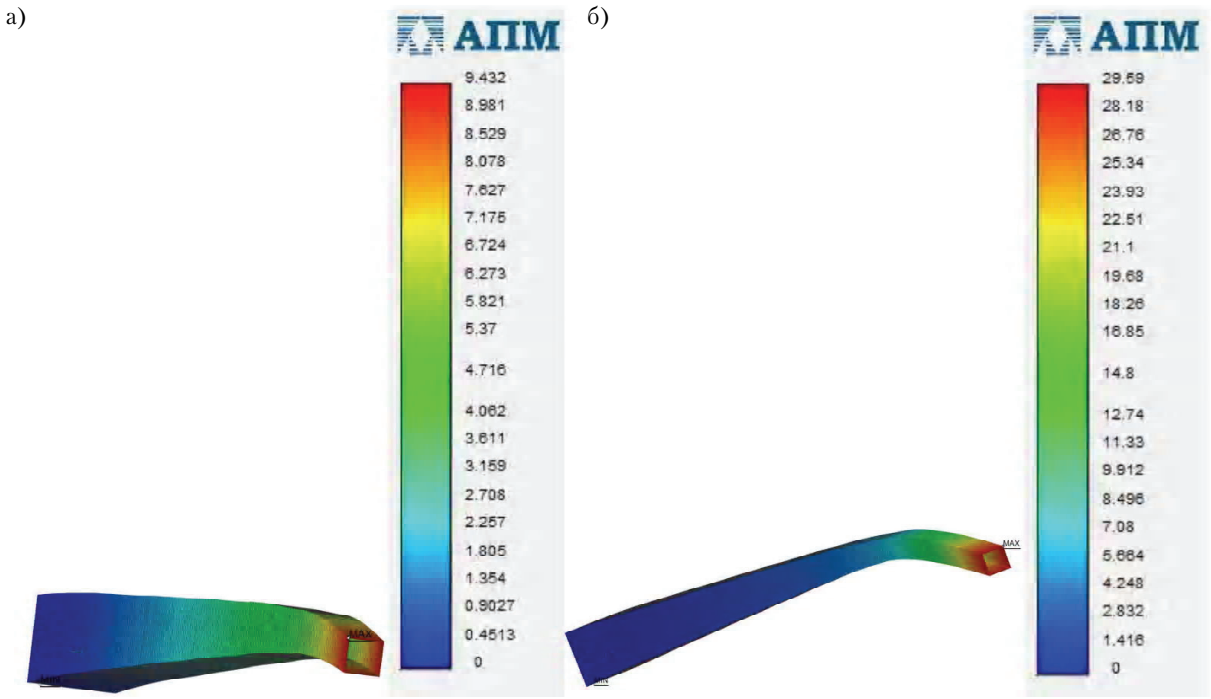

Рисунок 4 – Карты линейных перемещений (мм) в стреле 10 м (а) и в стреле 12,5 м (б).

ISSN 2519-2817 online
Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

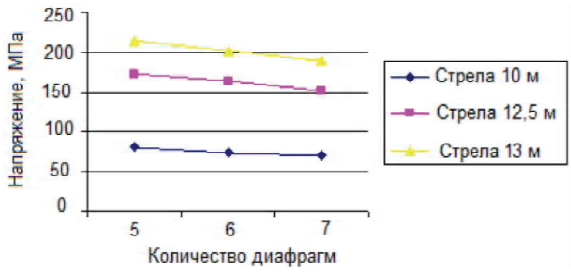

Рисунок 5 – Зависимость напряжений от количества диафрагм в стреле.

было принято решение сравнить влияние установки диафрагм на повышение прочности металлоконструкции стрелы. При установке 5 диафрагм с увеличенной толщиной до 4 мм уменьшение напряжений происходит незначительно – всего на 2 МПа, то есть на 1 %. При установке 6 диафрагм (толщина 3 мм) уменьшение напряжений составило 14 МПа (для стрелы с дополнительной секцией 3 м), то есть на 7 %, а при установке 7 диафрагм – напряжение 189,2 МПа, то есть уменьшение на 12 % (рисунок 5). Тем не менее, поскольку при нагрузке 525 кг в стреле с секцией длиной 3 м запас прочности даже при 7 диафрагмах составляет 1,4, то стрелу можно рекомендовать только при снижении массы люльки, например, до 100 кг, изготовив из алюминиевых сплавов. Таким образом, выполненный анализ прочности стрелы с установкой диафрагм говорит о том, что увеличение количества диафрагм существеннее влияет на повышение прочности конструкции, чем увеличение толщины диафрагмы.

Полученные графики напряжений, приведенные на рисунке 5, – это линейные зависимости, которые с высокой оценкой достоверности аппроксимации R^2 = 0,99 описываются следующими зависимостями:

– для стрелы 10 м

$$\sigma = -5{,}175n + 84{,}73, \tag{1}$$

– для стрелы 12,5 м

$$\sigma = -10{,}65n + 184{,}73, \tag{2}$$

– для стрелы 13 м

$$\sigma = -12{,}9n + 227{,}53, \tag{3}$$

где σ – напряжение, МПа;
n – количество диафрагм.

4. Анализ напряжений по длине стрелы показал завышенный запас прочности в корне стрелы, поэтому было принято поперечное сечение корневой части стрелы на участке длиной 1,85 м (то есть расстояние от оси закрепления стрелы до точки закрепления гидроцилиндра) (рисунок 2) уменьшить с 400×400 до 355×355 мм. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния металлоконструкции показал повышение максимальных напряжений на 5 %, деформации увеличились незначительно.

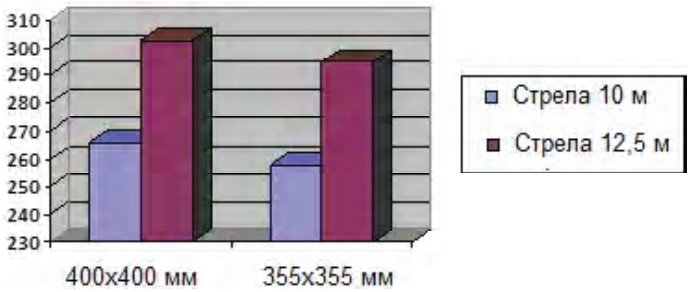

Рисунок 6 – Гистограмма массы стрелы в зависимости от поперечного сечения корневой части стрелы.

5. Выполнен расчет массы стрелы длиной 10,0 и 12,5 м в зависимости от количества диафрагм и при уменьшении поперечного сечения корневой части стрелы. Анализ результатов расчета массы стрелы показал, что при установке дополнительной диафрагмы масса увеличивается незначительно на 0,5 %, а при уменьшении поперечного сечения корневой секции масса уменьшается на 3 % (рисунок 6).

Таким образом, рекомендуется в подъемнике ПГ-22 выполнить верхнюю стрелу с телескопической секцией длиной 2,5 м, что позволит увеличить высоту подъема до 24,5 м. Причем поперечное сечение корневого участка стрелы, как в базовой модели, так и в новом подъемнике можно уменьшить, в результате снижение массы составит 3 %.

ВЫВОДЫ

1. Основная тенденция развития автогидроподъемников – увеличение высоты подъема. Предлагается в подъемнике ПГ-22 верхнюю стрелу дооборудовать телескопической секцией длиной 2,5 м, что увеличит зону обслуживания на 30 %.

2. Выполнено моделирование в программном комплексе Компас – 3D основной стрелы и стрелы, дооборудованной телескопически выдвижной секцией автогидроподъемника.

3. Проведенный с использованием программной среды APM FEM в Компас – 3D численный анализ напряженно-деформированного состояния металлоконструкции стрелы показал, что у нового подъемника с телескопической секцией верхней стрелы длиной 2,5 м прочностные характеристики удовлетворяют нормативным требованиям, а при длине 3 м требуется уменьшение нагрузки на конце стрелы, для этого необходимо снизить массу люльки, изготовив, например, из алюминиевых сплавов.

Установка диафрагм влияет на прочность конструкции стрелы, причем основной вклад вносит количество установленных диафрагм, влияние толщины диафрагмы незначительно.

Анализ напряжений по длине стрелы показал завышенный запас прочности в корневой части стрелы, поэтому рекомендуется на этом участке длиной 1,85 м поперечное сечение уменьшить с 400×400 мм до 355×355 мм, что приводит к увеличению напряжений на 5 % и снижению массы на 3 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протасов, Н. Автогидроподъемники: совместить приятное с полезным / Н. Протасов. – Текст : непосредственный // Основные средства. – № 08. – 2015. – С. 60–66.
2. Гончаров, Н. В. Нагруженность и оптимизация пластинчато-стержневых элементов стреловых конструкций экскаваторов и кранов : специальность 05.05.04 «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гончаров Николай Вячеславович ; Томский государственный архитектурно-строительный университет. – Томск, 2003. – 24 с. – Текст : непосредственный.
3. Лагерев, И. А. Оптимальное проектирование подъемно-транспортных машин / И. А. Лагерев, А. В. Лагерев. – Брянск : Издательство БГТУ, 2013. – 228 с.: ил. – ISBN 978-5-89838-680-1. – Текст : непосредственный.
4. Кравченко, П. Д. Проектирование стрелы грузоподъемного устройства минимальной массы / П. Д. Кравченко, А. Н. Дудченко. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 3(27). – С. 199–209.
5. Луцко, Т. В. Обоснование выбора автогидроподъемников при расширении их технологических возможностей / Т. В. Луцко. – Текст : непосредственный // Наукоемкие технологии и инновации : материалы международной научно-практической конференции, посвященная 65-летию БГТУ им. В. Г. Шухова, 09–10 октября 2014 г., Белгород, 2019. – С. 31–35.
6. РД 10-112-2-09. Методические рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Часть 2. Краны стреловые общего назначения и краны-манипуляторы грузоподъемные : издание официальное : утвержден ООО «НИИкраностроения» – головной организацией по краностроению (стреловые краны и краны-манипуляторы грузоподъемные) : взамен РД 10-112-2-97, РД 10-112-2-02Д, РД 10-112-96. Часть 1 и в дополнение к РД 10-112-1-04 : дата введения 2009-05-01 / разработчики А. В. Андреев, Г. Я. Гольцблат, А. Н. Горлов [и др.]. – Москва : ООО «НИИкраностроения», 2009. – 120 с. – Текст : непосредственный.

Получена 11.11.2020

Т. В. ЛУЦЬКО, О. О. БОРТНІКОВ, А. Г. ЛЕГЕЗІН, В. В. САПИЧЕВ

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ СТРІЛИ АВТОГІДРОПІДІЙМАЧА ПРИ ЗБІЛЬШЕННІ ЗОНИ ОБСЛУГОВУВАННЯ

ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглянуто питання забезпечення міцності металоконструкції стріли автогідро-підіймача при збільшенні зони обслуговування. На підставі аналізу конструктивних особливостей стрілового обладнання автогідропідіймачів визначені основні тенденції розвитку даної вантажо-підйомної техніки. Пропонується верхню стрілу колінчастого підіймача виконати з телескопічно висувною секцією, що дозволить збільшити висоту підйому люльки. Виконано чисельний аналіз напружено-деформованого стану основної та модернізованої стріли підіймача в програмному середовищі Компас-3D APM FEM: Міцнісний аналіз. За результатами навантаження підіймача виявлені найбільші концентрації напруження і максимальні деформації в стрілі. Виконано аналіз впливу розстановки діафрагм на згинальну міцність стріли. Визначено раціональні параметри верхньої стріли з телескопічно висувною секцією.

Ключові слова: автогідропідіймач, діафрагма, металоконструкція, навантаження, напружено-деформований стан, стріла.

TATYANA LUTSKO, OLEG BORTNIKOV, ANDREY LEGEZIN, VLADISLAV SAPYICHEV

JUSTIFICATION OF RATIONAL PARAMETERS OF THE METAL STRUCTURE OF THE BOOM OF THE AUTO-HYDRAULIC LIFT IN THE PROCESS OF SERVICE AREA INCREASING

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article deals with the issues of ensuring the strength characteristics of the metal structure of the boom of an auto-hydraulic lift with an increase in the service area. Based on the analysis of the design features of the boom equipment of hydraulic lifts, the main trends in the development of this lifting equipment are determined. It is proposed to perform the upper boom of the crank lift with a telescopically extendable section, which will increase the height of the cradle lift. Numerical analysis of the stress-strain state of the main and upgraded boom of the lift is performed in the Compass-3D APM FEM: Strength analysis software environment. According to the results of loading the lift, the highest stress concentrations and maximum deformations in the boom are revealed. The analysis of the effect of the arrangement of diaphragms on the bending strength of the boom is performed. Rational parameters of the upper boom with a telescopically extended section are determined.

Key words: auto-hydraulic lift, diaphragm, metal structure, loading, stress-strain state, boom.

Луцко Татьяна Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: статика и динамика грузоподъемных кранов.

Бортников Олег Олегович – магистрант по направлению подготовки 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование напряженно-деформированного состояния металлоконструкций грузоподъемных машин.

Легезин Андрей Геннадиевич – магистрант по направлению подготовки 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование напряженно-деформированного состояния металлоконструкций грузоподъемных машин.

Сапычев Владислав Валерьевич – магистрант по направлению подготовки 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование напряженно-деформированного состояния металлоконструкций грузоподъемных машин.

Луцько Тетяна Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів та засобів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: статика і динаміка вантажопідйомних кранів.

Бортніков Олег Олегович – магістрант за напрямом підготовки 23.04.02 «Наземні транспортно-технологічні комплекси» ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження напружено-деформованого стану металоконструкцій вантажопідйомних машин.

Легезін Андрій Геннадійович – магістрант за напрямом підготовки 23.04.02 «Наземні транспортно-технологічні комплекси» ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження напружено-деформованого стану металоконструкцій вантажопідйомних машин.

Сапичев Владислав Валерійович – магістрант за напрямом підготовки 23.04.02 «Наземні транспортно-технологічні комплекси» ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури».

Lutsko Tatyana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Land Transport and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: static's and dynamics of load-lifting cranes.

Bortnikov Oleg – Master's student in the field of training 23.04.02 Land Transport and Technological Complexes and Facilities, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of stress-strain state of metal structures of lifting machines.

Legezin Andrey – Master's student in the field of training 23.04.02 Land Transport and Technological Complexes and Facilities, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of stress-strain state of metal structures of lifting machines.

Sapyichev Vladislav – Master's student in the field of training 23.04.02 Land Transport and Technological Complexes and Facilities, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of stress-strain state of metal structures of lifting machines.