

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СТРЕЛЫ ТРОСОВОГО КРАНА-МАНИПУЛЯТОРА НА ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗА

Т. В. Луцко, к.т.н, доцент; С. В. Мишин; А. А. Родин

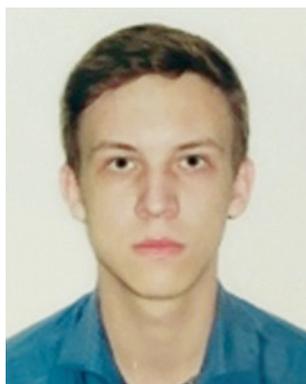
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. В статье проведен численный анализ напряженно-деформированного состояния телескопической стрелы тросового крана-манипулятора при его нагружении. В качестве объекта исследования принята телескопическая стрела с четырехгранным и шестигранным поперечными сечениями. Для анализа использовался программный комплекс Компас-3D АРМ FEM: Система прочностного анализа. Полученные результаты позволили оценить прочностные и жесткостные параметры рассматриваемых конструкций стрел тросового крана-манипулятора. Построены графики зависимостей перемещений оголовка стрелы при нагружении в вертикальной и горизонтальной плоскостях. На основании полученных данных скорректированы грузовысотные характеристики крана-манипулятора, которые способствуют точному позиционированию груза на место погрузки и повышают безопасность погрузочно-разгрузочных работ. Уточненные грузовысотные характеристики крана-манипулятора представлены в виде аналитических зависимостей.

Ключевые слова: вылет, высота подъема, грузовысотная характеристика, грузоподъемность, деформативность, кран-манипулятор, напряжение, перемещение, поперечное сечение, стрела.



*Луцко
Татьяна Васильевна*



*Мишин
Сергей Васильевич*



*Родин Александр
Александрович*

Краны-манипуляторы широко используются при выполнении погрузочно-разгрузочных работ малой и средней грузоподъемности в различных отраслях национальной экономики: в строительстве, промышленности, на транспорте и т.д. [1-3]. В последнее время рассматриваемый вид техники получил массовое распространение. В связи с этим вопросы, связанные с эффективностью применения кранов-манипуляторов, являются насущными. Стремление к снижению металлоемкости грузоподъемных кранов вызывает повышение деформативности конструкции, а, следовательно, приводит к неточности установки грузов на место монтажа или погрузки. Для кранов-манипуляторов данная проблема также характерна.

Вопросам уточнения координат положения стрелового оборудования грузоподъемных кранов и подъемников посвящены работы [4-6]. Анализ этих публикаций подтверждает актуальность проблемы повышения точности позиционирования груза. В результате чего, более точная установка груза на место монтажа помимо повышения безопасности проведения погрузочно-разгрузочных и монтажных работ кранов, способствует снижению времени на выполнение рабочих операций и, как следствие, повышению эффективности эксплуатации машин.

В связи с этим, в настоящей работе ставится цель – оценка влияния деформативности телескопической стрелы крана-манипулятора на точность позиционирования груза. Полученные результаты позволят уточнить и скорректировать грузовысотную характеристику крана.

Для этого решались следующие задачи:

1) выполнение анализа конструктивных исполнений и разновидностей поперечных сечений стрел, применяемых на кранах-манипуляторах;

2) моделирование в программном комплексе телескопической стрелы тросового крана-манипулятора с разными видами поперечного сечения;

3) уточнение грузовысотных характеристик крана-манипулятора и разработка аналитических зависимостей для их построения.

Различают краны-манипуляторы со стреловым оборудованием [3]:

1) шарнирно-сочлененной конструкции с Z-образной схемой складывания;

2) L-образные краны-манипуляторы с прямой телескопической стрелой и тросовой подвеской крюка.

Устройство стрел с Z-образной схемой складывания более сложное по сравнению с L-образной схемой, однако, Z-образная конструкция получается наиболее компактной в транспортном положении. В тоже время, у Z-образной стрелы высокой грузоподъемности достаточно мощные соединительные шарниры могут сильно утяжелять конструкцию. L-образные краны-манипуляторы работают на больших

вылетах и быстрее Z-образных кранов. Поэтому однозначно сказать, какому крану-манипулятору отдавать предпочтение нельзя. Все зависит от конкретных условий и требований эксплуатации.

Для улучшения эксплуатационных показателей конструкторы кранов-манипуляторов пошли по пути увеличения количества граней в сечении короба. Исследования в области крановых стрел показали, что, чем больше граней в профиле, тем эффективнее распределяется напряжение по сечению. Анализ поперечных сечений стрел кранов-манипуляторов показал, что оптимальной является коробчатая стрела с шестигранным сечением [3].

Таким образом, в итоге в качестве объекта исследования был принят L-образный тросовый кран-манипулятор INMAN IT 120 Palfinger [7] (рис. 1). Для него характерны следующие параметры:

- грузовой момент 12,7 т·м (124,6 Н·м);
- максимальная грузоподъемность 5050 кг;
- грузоподъемность на максимальном вылете 800 кг;
- максимальный вылет стрелы 11,1 м.

На рис. 2 показана грузовысотная характеристика тросового крана-манипулятора INMAN IT 120 Palfinger.



а)



б)

Рис. 1. Тросовый кран-манипулятор INMAN IT 120 Palfinger: а – общий вид; б – стреловое оборудование

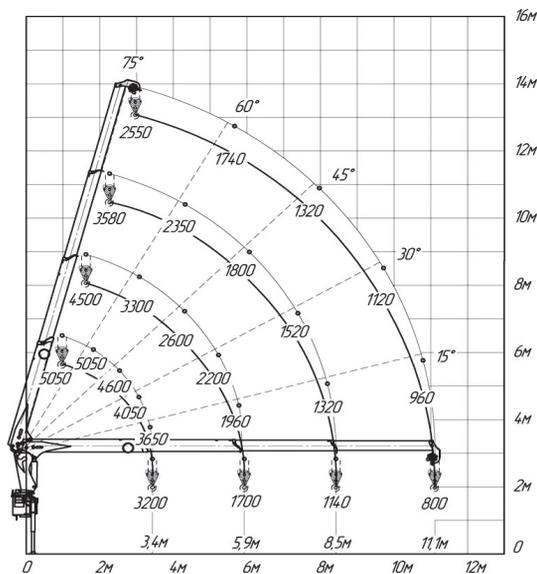


Рис. 2. Грузовысотные характеристики тросового крана-манипулятора INMAN IT 120 Palfinger

Рассматриваемый кран имеет три телескопируемые секции. На рис. 3 показаны вертикальные нагрузки, действующие на стрелу, причем, в качестве расчетных принимаются три положения стрелы: на минимальном вылете, максимальном вылете и при расположении стрелы под 45° к горизонту. При этом рассматривается стрела полностью выдвинутой.

На рис. 3 приняты следующие обозначения:

- Q – грузоподъемность на соответствующем вылете (см. грузовысотную характеристику на рис. 2), кг;
- SK – усилие в грузовом канате, Н;
- GC – масса стрелы, кг;
- R – усилие в гидроцилиндре подъема стрелы, Н;
- LC – длина полностью выдвинутой стрелы, м;
- b – расстояние от пяты стрелы до точки закрепления гидроцилиндра к стреле, м;
- α – угол наклона стрелы к горизонту, град;
- β – угол наклона гидроцилиндра подъема стрелы к горизонту, град.

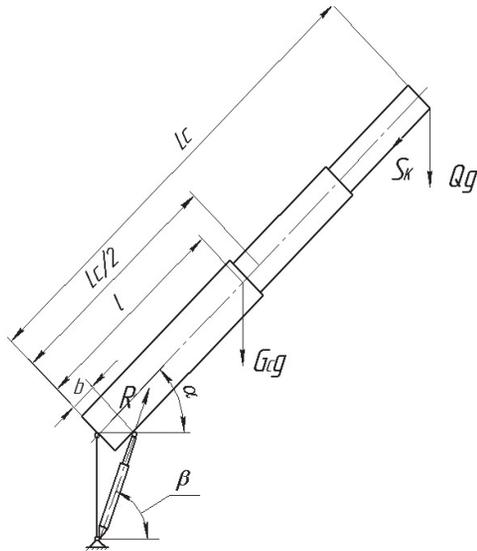


Рис. 3. Вертикальные нагрузки, действующие на стрелу тросового крана-манипулятора

Для обеспечения заданной грузоподъемности стрела должна удовлетворять условиям прочности и жесткости. В связи с тем, что в современных конструкциях кранов-манипуляторов применяются коробчатые стрелы, как с прямоугольными (четырёхгранными) поперечными сечениями, так и с шестигранными, то выполним моделирование двух вариантов стрел. На рис. 4 показаны размеры поперечных сечений стрелы нижней секции (сечение I-I), второй секции (сечение II-II) и верхней секции (сечение III-III) для двух исполнений: четырехгранного и шестигранного.

Далее выполняем моделирование стрел в программном комплексе Компас-3D и прикладываем нагрузки на стрелу, показанные на рис. 3. В результате прочностного расчета в программе APM FEM Система прочностного анализа для Компас-3D определены максимальные напряжения и перемещения металлоконструкций стрел. На рис. 5 показаны вертикальные перемещения оголовка стрелы тросового крана-манипулятора.

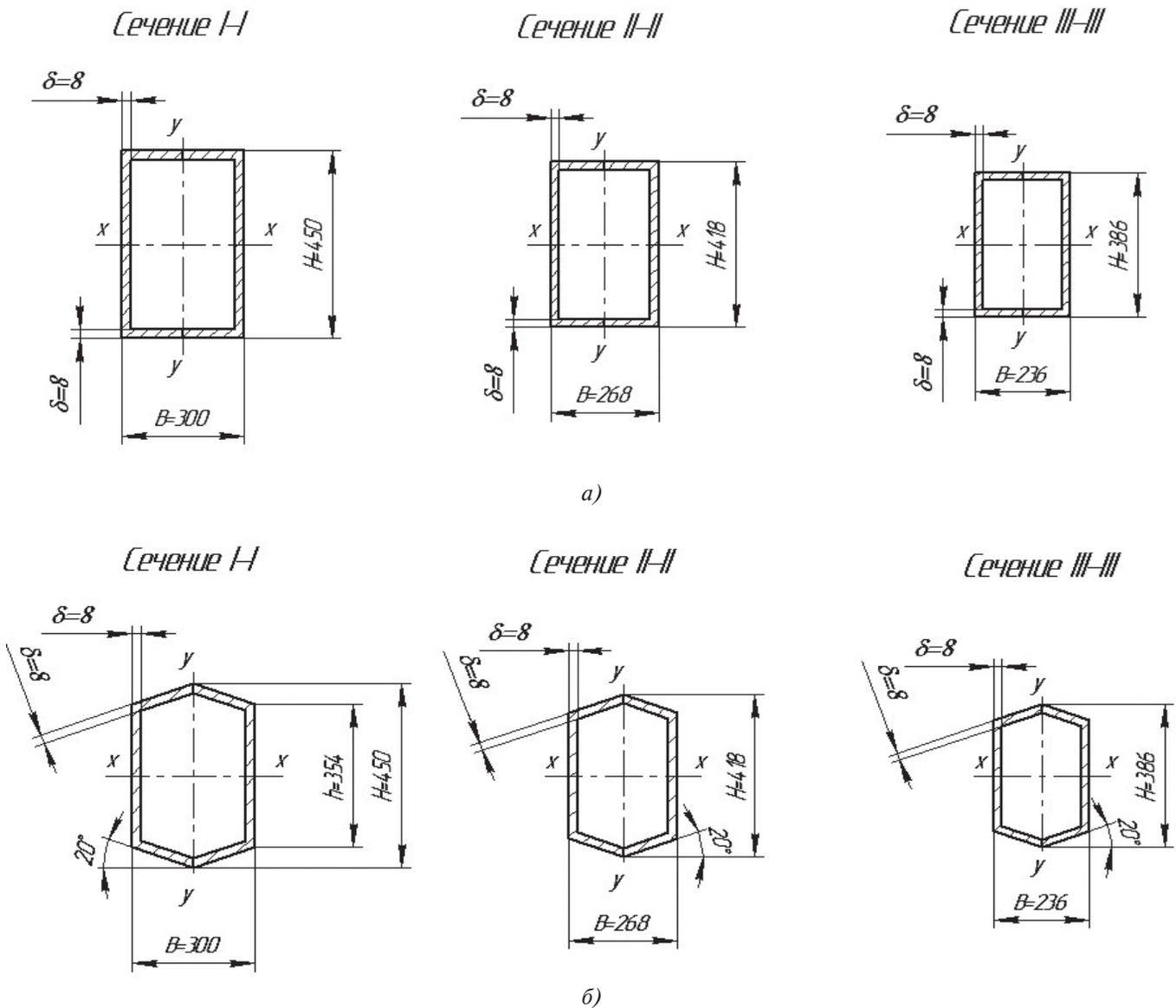


Рис. 4. Поперечные сечения стрел тросового крана-манипулятора: а – прямоугольного поперечного сечения (четырёхгранного); б – шестигранного поперечного сечения

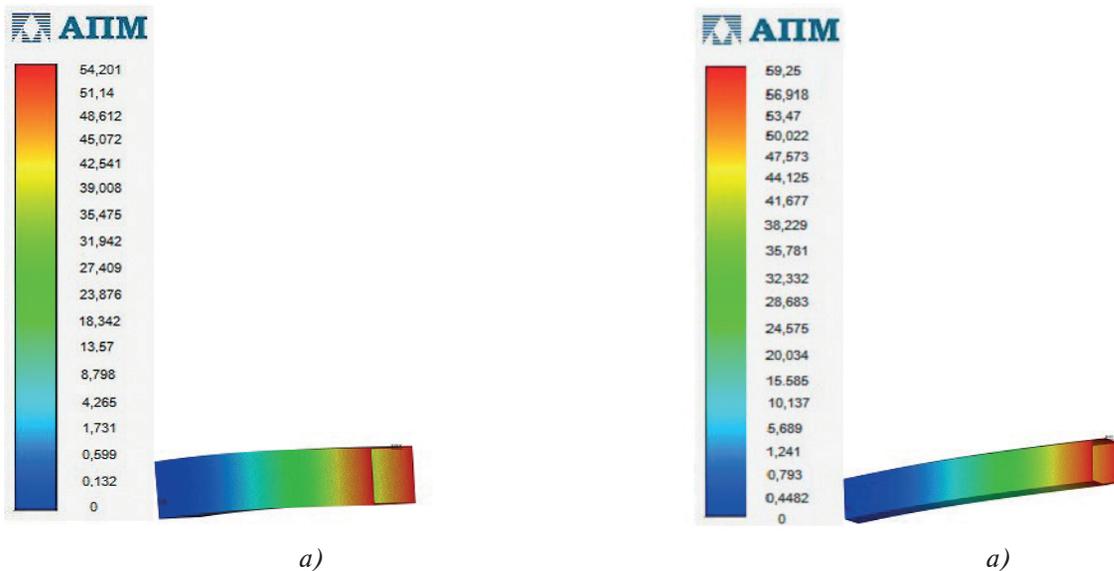


Рис. 5. Карта вертикальных перемещений верхней секции стрелы тросового крана-манипулятора:
 а – стрела прямоугольного поперечного сечения (четырёхгранного);
 б – стрела шестигранного поперечного сечения

Концентрация напряжений возникает в местах стыка секций стрелы, а также в верхнем поясе стрелы независимо от формы поперечного сечения. Причем, запас прочности у стрелы с прямоугольным поперечным сечением (четырёхгранной) составил 1,96, у шестигранной стрелы – 2,24.

Наибольшие вертикальные перемещения составили 54,201 мм у четырёхгранной стрелы и 59,25 мм у шестигранной стрелы на максимальном вылете. Наи-

большие горизонтальные перемещения (то есть приращения вылета стрелы) получились при расположении стрелы под углом 45° (вылет 8,5 м) к горизонту, причем для четырёхгранной стрелы составили 75,32 мм, а для шестигранной стрелы – 84,052 мм.

На рис. 6, а показаны графики вертикальных перемещений оголовка стрелы в зависимости от вылета, а на рис. 6, б – графики горизонтальных перемещений оголовка стрелы в зависимости от вылета.

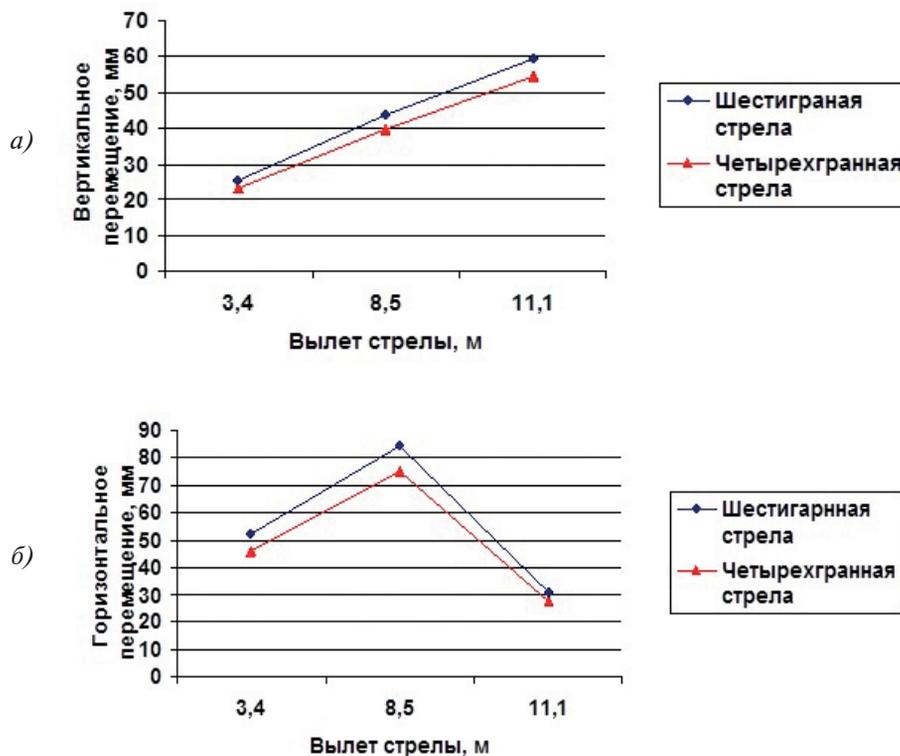


Рис. 6. Перемещения оголовка стрелы (полностью выдвинутой) в зависимости от вылета стрелы:
 а – вертикальные перемещения; б – горизонтальные перемещения

Таким образом, шестигранная стрела является более прочной, но в тоже время, имеет большую деформативность по сравнению с четырехгранной стрелой, в вертикальной плоскости разница составляет 9 %, а в горизонтальной – 11 %.

Если же сравнить массы стрел, то шестигранная стрела оказалась легче и составила 870 кг, а четырехгранная – 930 кг, что на 6,5 % больше шестигранной. Следовательно, оптимальной по массовым параметрам является шестигранная стрела.

При сохранении грузоподъемности крана, заданной в исходной характеристике (см. рис. 2), изменились значения вылета и высоты подъема вследствие деформативности стрелы. Далее с учетом полученных значений перемещений можно уточнить грузовысотные характеристики рассматриваемых стрел. На рис. 7 показаны штриховыми линиями грузовысотные характеристики с учетом перемещений оголовка стрелы под нагрузкой. Причем, на этом рисунке приведены данные для шестигранной стрелы. Для четырехгранной стрелы грузовысотные характеристики строятся аналогично.

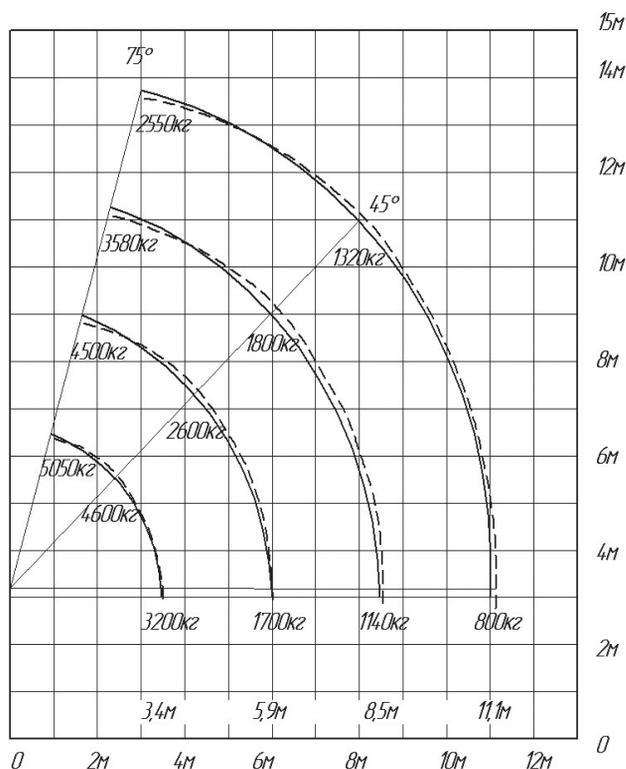


Рис. 7. Грузовысотные характеристики тросового крана-манипулятора с шестигранной стрелой: — первоначальная; - - - - - уточненная

Можно описать графики построения грузовой и высотной характеристик в виде следующих зависимостей:

1) грузовая характеристика – зависимость грузоподъемности от вылета:

– грузоподъемность

$$Q_i = \frac{M_o - G_c g \left(l \cos \alpha_i - \frac{K}{2} \right)}{k \left(L_c \cos \alpha_i + \Delta_x - \frac{K}{2} \right) g} \quad (1)$$

– вылет

$$L_i = L_c \cdot \cos \alpha_i + \Delta_x, \quad (2)$$

2) высотная характеристика – зависимость высоты подъема от вылета:

$$H_i = L_c \sin \alpha_i - \Delta_y + h, \quad (3)$$

где Q_i – грузоподъемность на i-том вылете стрелы, кг; L_i – i-тый вылет стрелы (формула (2) дана при допущении, что пята закрепления стрелы совпадает с осью вращения крана), м;

M_o – восстанавливающий момент, который создается силами тяжести элементов крана без стрелы относительно ребра опрокидывания (величина постоянная для всех вылетов), Н·м;

G_c – масса стрелы, кг;

l – расстояние от пяты стрелы до ее центра тяжести, м;

α_i – угол наклона стрелы к горизонту на i-том вылете, град;

K – расстояние между выносными опорами крана, м;

L_c – длина стрелы, м;

k – коэффициент запаса грузовой устойчивости;

H_i – высота подъема груза на i-том вылете стрелы, м;

h – высота закрепления пяты стрелы от уровня земли, м;

Δ_x – горизонтальное приращение вылета стрелы, м;

Δ_y – вертикальное перемещение оголовка стрелы, м.

Причем, грузоподъемность на соответствующем вылете можно оставить, как в исходной характеристике крана, но при этом необходимо проверить стрелу на прочность, а кран – на устойчивость. В результате получаются уточненные характеристики вылета и высоты подъема при требуемых значениях грузоподъемности.

Таким образом, в настоящей работе получены следующие выводы:

1. Выполнен анализ существующих конструкций стрел кранов-манипуляторов. Установлено, что для них характерна повышенная деформативность при нагружении.

2. Выполнен численный анализ напряженно-деформированного состояния телескопической стрелы четырехгранного и шестигранного поперечного сечения для тросового крана-манипулятора. Установлено, что по металлоемкости предпочтение следует отдавать шестигранным стрелам, причем их деформативность незначительно превышает податливость четырехгранных стрел.

3. Уточнены грузовысотные характеристики тросового крана-манипулятора с четырехгранной и шестигранной стрелой. Получены аналитические зависимости построения данных характеристик.

Список литературы

1. Бандурин, Р. А. Рынок кранов-манипуляторов в России / Р. А. Бандурин // Проблемы современной экономики. – 2015. – № 26. – С. 138-142. – Текст : непосредственный.

2. Лагерев, И. А. Сравнительный анализ гидравлических кранов-манипуляторов транспортно-технологических машин и гидравлических манипуляторов промышленных роботов / И. А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2016, № 3. — С. 16-49. — Текст : непосредственный.
3. Протасов, С. Стрела — исполнительный элемент КМУ / С. Протасов // Основные средства, № 03, 2013. — С. 64- 69. — Текст : непосредственный.
4. Гурко, А. Г. Исследование положений стрелы двухзвенного автогидроподъемника / А. Г. Гурко, Н. В. Розенфельд, Ю. А. Доля // Технология приборостроения 1' 2015. — С. 58-61. — 2014. — № 196-2. — С. 41-50. — Текст : непосредственный.
5. Луцко, Т. В. Грузовые характеристики тяжелых стреловых кранов типа СКР с учетом деформативности конструкции / Т. В. Луцко // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2007: материалы Международной научно-технической конференции, 11-14 сентября 2007 г., Самара / Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. — Самара. 2007. — С.59-63. — Текст : непосредственный.
6. Щербаков, В. С. Автоматизация моделирования оптимальной траектории движения рабочего органа строительного манипулятора: монография / В .С. Щербаков, И. А. Реброва, М. С. Корытов. — Омск: Изд-во СибАДИ, 2009. — 106 с. — Текст : непосредственный.
7. PALFINGER AG : краны-манипуляторы : сайт. — Санкт-Петербург, 2021. — Текст : электронный. — URL : <https://www.palfinger.com> (дата обращения: 14.04.2022).