

ОЦЕНКА ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОГИДРОПОДЪЕМНИКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ СТРЕЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Т. В. Луцко, канд. техн. наук, доцент; В. В. Бахмаченко, магистрант; А. С. Гуляев, магистрант
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы эффективности использования стрелового оборудования автогидроподъемников с точки зрения оценки их зоны обслуживания (подстрелового пространства). В качестве объектов сравнения приняты автогидроподъемники коленчатый и коленчато-телескопический. Получены аналитические зависимости построения траектории движения люльки подъемника. Разработаны в программном комплексе различные виды стрелового оборудования для учета их перемещений под нагрузкой при построении зоны обслуживания. Поправочные координатные ошибки необходимо вводить в аналитические зависимости для более точного построения траектории движения люльки, а также для оценки зоны обслуживания автогидроподъемника. В результате получены высотные характеристики, учитывающие деформированное состояние стрелового оборудования, что способствуют более точному позиционированию груза на место монтажа. В статье также проведена сравнительная оценка зоны обслуживания с помощью обобщенных показателей.

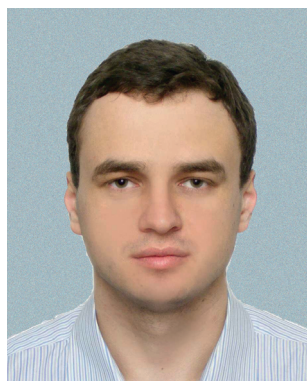
Ключевые слова: автогидроподъемник, высотная характеристика, зона обслуживания, показатель, стрела.



*Луцко
Татьяна Васильевна*



*Бахмаченко
Виталий Витальевич*



*Гуляев
Алексей Сергеевич*

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

При эксплуатации грузоподъемных машин со стреловым оборудованием, таких как автогидроподъемники и самоходные стреловые краны, возникает вопрос оценки их зоны обслуживания, помимо их назначения под конкретные задачи и условия эксплуатации. Прежде всего, это необходимо для анализа эффективности использования грузоподъемного оборудования. Кроме этого, определив координаты зоны обслуживания, можно найти наиболее рациональную траекторию движения оголовка стрелы (или люльки для подъемника, крюковой подвески для стрелового крана).

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам точности работ, выполняемых рабочим оборудованием различных строительных машин, посвящены многие публикации [1-8].

Прежде всего, для них характерно уточнение зоны обслуживания машины. Что же касается автогидроподъемников, то по конструктивному исполнению они близки к кранам-манипуляторам, а также к стреловым кранам, в связи с этим, интерес представляют публикации, посвященные определению положений в пространстве стрелового оборудования данных типов машин. Эти работы направлены, прежде всего, на уменьшение динамических нагрузок и гашение колебаний стрелового оборудования [2,3]. В монографии [8] рассматриваются задачи автоматизированного моделирования оптимальной траектории движения рабочего

оборудования кранов-манипуляторов. Повышение точности построения зоны обслуживания (грузовысотных характеристик) способствует не только повышению производительности грузоподъемной машины, но и безопасности ее эксплуатации. Анализ публикаций в рассматриваемой области подтверждает актуальность проблемы уточнения построения зоны обслуживания грузоподъемных машин со стреловым оборудованием.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В настоящей работе ставится цель – уточнение построения зоны обслуживания автогидроподъемников с разными видами стрелового оборудования и оценка эффективности их использования.

Для этого решались следующие задачи:

1) разработка аналитических зависимостей для построения траектории движения оголовка верхней стрелы (люльки);

2) моделирование в программном комплексе различных видов стрелового оборудования автогидроподъемников для численного анализа их деформаций и перемещений, с последующим учетом при построении высотных характеристик (зоны обслуживания);

3) построение и сравнительная оценка зоны обслуживания разных видов стрелового оборудования автогидроподъемников.

В качестве объектов исследования рассматривались одноколенный подъемник ПГ-22 и телескопический одноколенный подъемник ПСС-141.22 с максимальной высотой подъема 22 м (Рис. 1).

В стесненных условиях автогидроподъемник с коленчатой стрелой неудобный вследствие того, что занимает много места. Тем не менее, автогидроподъемники с коленчатыми стрелами получили широкое распространение, поскольку конструкция относительно дешевая и простая, обслуживание осуществляется самим оператором, а также их отличает большая подвижность шарнирных соединений рычагов и, как следствие, большая функциональность.

Устройство телескопических и коленчато-телескопических гидроподъемников более сложное. Кроме этого, комбинированные стрелы стоят дороже, однако подъемники с такими стрелами сочетают в себе преимущества и коленчатых, и телескопических автогидроподъемников. Они имеют небольшие размеры складных секций, а выдвижная телескопическая секция осуществляет линейные движения люльки по горизонтали под различными углами к горизонту.

При построении высотных характеристик любые отклонения при нагружении стрелового оборудования от первоначального положения могут повлиять на безопасность выполнения грузоподъемных работ. Причинами, вызывающими подобные отклонения, являются погрешности при сборке рабочих механизмов шарнирно-сочлененных звеньев стрелового оборудования автогидроподъемников и собственная деформативность

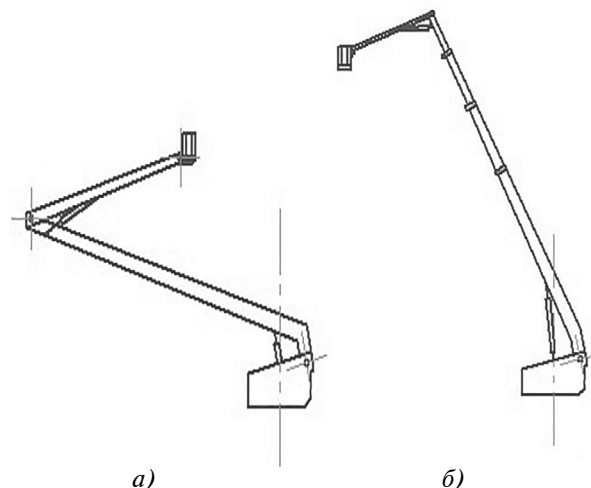


Рис. 1. Разновидности автогидроподъемников в зависимости от рабочего (стрелового) оборудования: а – коленчатый; б – коленчато-телескопический

рабочего оборудования [4]. Все это влияет на точность выполняемых работ, а также на границы охватываемой зоны обслуживания.

В настоящей статье рассмотрим зависимости, определяющие траекторию движения оголовка верхней стрелы автогидроподъемника (или люльки).

На рис. 2 представлены расчетные схемы рабочего (стрелового) оборудования коленчатого (ПГ-22) и коленчато-телескопического (ПСС-141.22) автогидроподъемников.

Размеры стрелового оборудования и расстояния до точек закрепления гидроцилиндров к стрелам известны: OO_1 , OO_2 , O_1O_3 (нижняя стрела для коленчатого подъемника постоянной длины, телескопически изменяемая стрела для коленчато-телескопического подъемника), O_3O_4 (верхняя стрела для коленчатого подъемника), $O_3O_5O_4$ (изогнутая верхняя стрела для коленчато-телескопического подъемника, для упрощения расчетных формул приняли длину верхней стрелы O_3O_4), O_1C_1 , O_1C_2 , O_3C_3 , O_3C_5 , C_3C_4 , C_4C_5 . За счет изменения хода гидроцилиндров O_2C_1 и C_2C_4 меняет свое положение стреловое оборудование (в телескопическом подъемнике дополнительно еще за счет изменяемой длины телескопической стрелы O_1O_3). Для расчетов и при моделировании в программном комплексе стрелового оборудования принимали три положения (см. рис. 3).

Аналитически выразим координаты положения люльки (то есть точки O_4):

$$\left. \begin{aligned} X_{O_4} &= O_3O_4 \cos \beta - O_1O_3 \cos \alpha; \\ Y_{O_4} &= OO_1 + O_1O_3 \sin \alpha + O_3O_4 \sin \beta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В данных зависимостях неизвестными являются углы наклона стрел к горизонту: нижней - α и верхней - β . Причем, длина нижней стрелы O_1O_3 для коленчатого подъемника постоянная, а для коленчато-телескопического изменяемая.

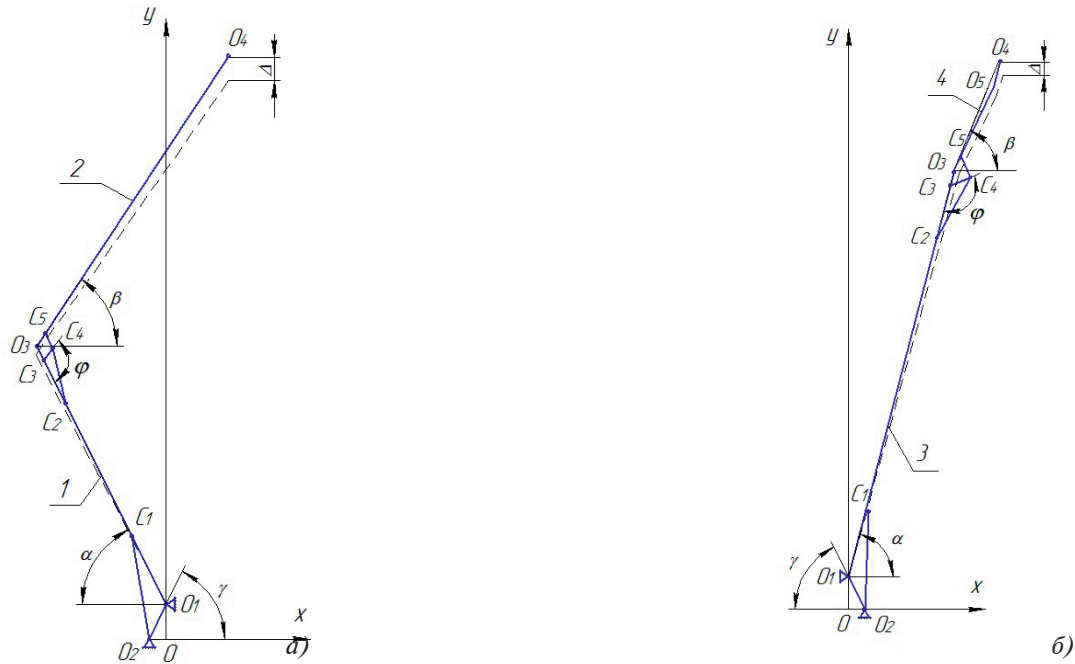


Рис. 2. Расчетные схемы стрелового оборудования коленчатого (а) и коленчато-телескопического (б) автогидроподъемников:

1 – нижняя стрела; 2 – верхняя стрела; 3 – телескопическая стрела; 4 – изогнутая верхняя стрела; ————— первоначальное положение; - - - - - положение при нагружении; Δ – перемещение по вертикали оголовка верхней стрелы

Угол γ является постоянным (рис. 2), его можно определить из следующей зависимости:

$$\gamma = \arctg \frac{OO_1}{OO_2} = const, \quad (2)$$

Угол наклона нижней стрелы к горизонту:

$$\alpha = \arccos \frac{O_1O_2^2 + O_1C_1^2 - O_2C_1^2}{2 \cdot O_1O_2 \cdot O_1C_1} - \gamma, \quad (3)$$

где O_2C_1 – длина гидроцилиндра управления нижней стрелой (нижний гидроцилиндр). Меняя ход этого гидроцилиндра, можно в любой момент определить угол наклона нижней стрелы к горизонту. Остальные расстояния, входящие в формулу (3), известны и постоянны для различных положений.

Длины рычагов, соединяющие верхнюю и нижнюю стрелы, равны между собой $C_3C_4 = C_4C_5$.

Также равны между собой расстояния крепления данных рычагов от точки O_3 – шарнира соединения верхней и нижней стрел, то есть $O_3C_3 = O_3O_5$.

Угол между нижней стрелой O_1O_3 и рычагом C_3C_4 зависит от изменения хода гидроцилиндра управления верхней стрелой C_2C_4 (далее будем называть верхний гидроцилиндр) и определяется по формуле:

$$\varphi = \arccos \frac{C_2C_3^2 + C_3C_4^2 - C_2C_4^2}{2 \cdot C_2C_3 \cdot C_3C_4}, \quad (4)$$

Угол наклона верхней стрелы к горизонту:

$$\beta = 2 \arctg \frac{C_3C_4 \sin(180^\circ - \varphi)}{O_3C_3 - C_3C_4 \cos(180^\circ - \varphi)} - \gamma, \quad (5)$$

где φ – угол, определяемый по формуле (4), который зависит от длины хода верхнего гидроцилиндра C_2C_4 ; меняя его ход, можно в любой момент определить координаты оголовка верхней стрелы O_4 ;

γ – угол, определяемый по формуле (2), является постоянным для различных положений стрелового оборудования.

Таким образом, система зависимостей (1) позволяет построить траектории движения оголовка верхней стрелы O_4 и следовательно люльки (см. рис. 3 графики 1). Далее в программном комплексе было выполнено моделирование стрелового оборудования рассматриваемых типов автогидроподъемников и определены перемещения Δ оголовка верхней стрелы при нагружении подъемников. На рис. 3 (графики 2) представлены траектории движения люльки с учетом деформаций стрелового оборудования. Анализ траекторий 2 показал, что люлька может опускаться вниз на 0,3...0,5 м. Причем смещения по горизонтали незначительны по сравнению с вертикальными перемещениями. В результате сравнения траекторий движения оголовка верхней стрелы установлено, что большие изменения высоты подъема вследствие деформации стрелового

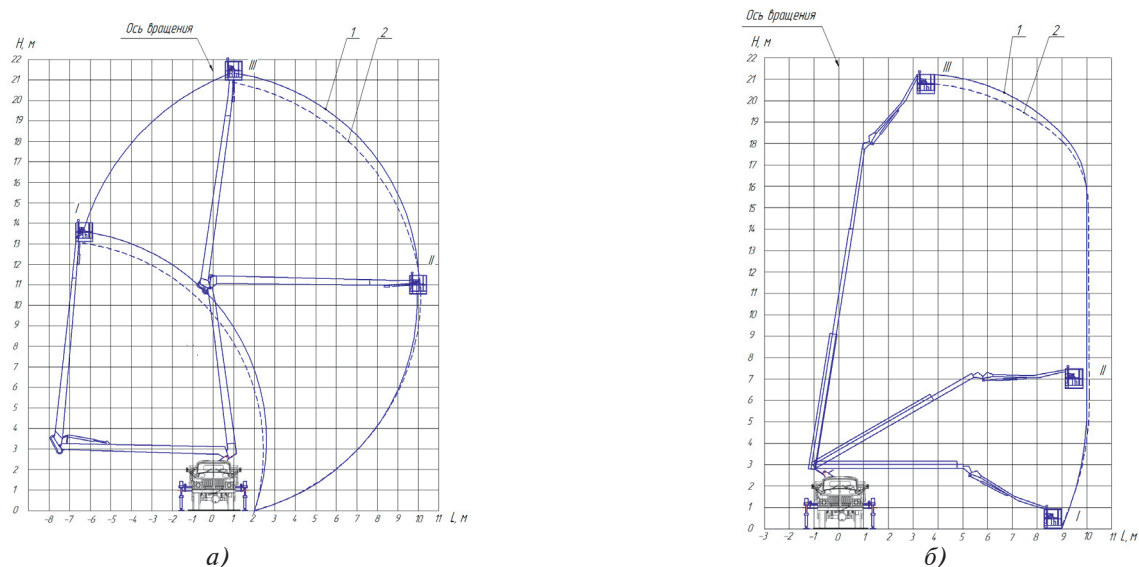


Рис. 3. Зоны обслуживания коленчатого ПГ-22 (а) и коленчато-телескопического ПСС-141.22 (б) автогидроподъемников:

1 - теоретическая; 2 - с учетом деформированного состояния стрелового оборудования (штриховая линия)

оборудования характерны для коленчатого подъемника по сравнению с коленчато-телескопическим. Причем при моделировании не учитывались ветровые и инерционные нагрузки и зазоры в шарнирных соединениях, которые также внесут свою корректировку.

На основании полученных уточненных графиков зон обслуживания проведем анализ эффективности стрелового оборудования. Для этого используем обобщенные показатели [10]:

1. Обобщенный показатель оценки материалоемкости высоты подъема, грузоподъемности и вылета:

$$P_{Nmm} = \frac{m_{\text{ПОД}}}{H \cdot Q \cdot L} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где Q – грузоподъемность подъемника, т;
 L – максимальный вылет стрелового оборудования подъемника, м.

2. Обобщенный показатель экономии энерго-, материалоемкости и зоны обслуживания:

$$P_{Nmm} = \frac{m_{\text{ПОД}} N}{S^2} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где S – площадь зоны обслуживания подъемником, м².

Результаты расчетов данных показателей приведены в таблице, они показали, что минимальные значения при оценке зоны обслуживания характерны для коленчатого подъемника. Следовательно, коленчатый подъемник по зоне обслуживания эффективнее коленчато-телескопического. Однако по металлоемкости преимущество за коленчато-телескопическим, но оно незначительно.

На рис. 4 представлены гистограммы зоны обслуживания теоретические и с учетом деформированного состояния стрелового оборудования для двух рассматриваемых подъемников, анализ которых говорит о том, что коленчатый подъемник по зоне обслуживания предпочтительнее коленчато-телескопического, несмотря на то, что деформативность коленчатого подъемника больше и, следовательно, точность позиционирования люльки меньше.

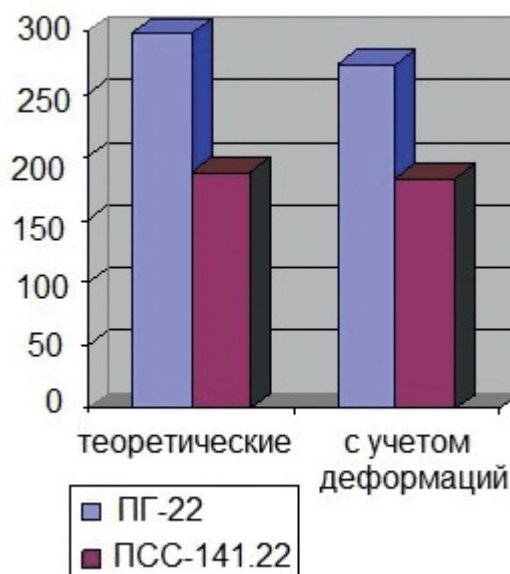


Рис. 4. Гистограммы зон обслуживания автогидроподъемников

Таким образом, полученные результаты говорят о необходимости вносить поправки на перемещения при построении зоны обслуживания подъемника. Для этого рекомендуется в аналитические зависимости (1) вносить изменения в углы наклона стрел, в результате уточненные значения координат положения люльки составят:

Таблица 1.

Результаты сравнительного анализа эффективности стрелового оборудования коленчатого и коленчато-телескопического автогидроподъемников

Наименование показателей	Тип подъемника	
	коленчатый ПГ-22	коленчато-телескопический ПСС-141.22
Наибольшая высота подъема, H , м	22	23,5
Максимальный вылет, L , м	10,5	10
Зона обслуживания, S , м ²	298,3	193,5
Грузоподъемность, Q , т	0,25	0,25
Масса навесного оборудования $m_{под}$, т	4,095	3
Мощность насоса, N , кВт	19,6	19,6
$P_m = \frac{m_{под}}{H \cdot Q \cdot L}$	0,081	0,056
$P_{NmS} = \frac{m_{под} N}{S^2}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$1,75 \cdot 10^{-4}$

$$\left. \begin{aligned} X_{O4} &= O_3 O_4 \cos(\beta - \Delta\beta) - O_1 O_3 \cos(\alpha - \Delta\alpha); \\ Y_{O4} &= O O_1 + O_1 O_3 (\sin \alpha - \Delta\alpha) + O_3 O_4 (\sin \beta - \Delta\beta) \end{aligned} \right\} (8)$$

где $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$ - соответственно приращения углов наклона нижней и верхней стрелы подъемника при нагружении, вызванные деформациями стрелового оборудования.

ВЫВОДЫ

1. Определены аналитические зависимости координат оголовка стрелы (люльки) подъемника с учетом деформированного состояния стрелового оборудования, которые используются для построения зоны обслуживания подъемника.

2. Численный анализ деформированного состояния коленчатого и коленчато-телескопического стреловых оборудований в программном комплексе показал, что наибольшие отклонения от теоретической траектории движения люльки характерны для коленчатого рабочего оборудования автогидроподъемника.

3. Анализ зоны обслуживания коленчатого и коленчато-телескопического подъемников с помощью обобщенных показателей показал, что более функциональным является коленчатое стреловое оборудование, несмотря на большую деформативность его конструкции.

Список литературы

1. А. Г. Гурко, Исследование положений стрелы двухзвенного автогидроподъемника / А. Г. Гурко, Н. В. Розенфельд, Ю. А. Доля // *Технология приборостроения* 1' 2015. – С. 58–61.
2. Ловейкин, В. С. Оптимізація режиму пуску висувної рукояті крана-маніпулятора під час горизонтального переміщення вантажу з урахуванням його коливань /

- В. С. Ловейкин, Д. О. Мішук // *Гірничі та піднімально-транспортні машини*. – 2010. – № 76. – С. 3-8.
3. V. S. Loveykin, Optimization Of Mode Of Ruh Of Jarticulated Jib Of System Of Tower Faucet Is On Dynamic Criterion / V. S. Loveykin, O. G. Shevchuk // *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. – 2014. – № 1962. – С. 41-50.
4. Т. В. Луцко, 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.
5. П. А. Побегайло, Рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора: о точности перемещения ковша / П. А. Побегайло // *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 11, 2017. – С. 113–117.
6. Е. О. Подчасов, А. Д. Терентьева Анализ точности работ, производимых рабочим механизмом одноковшового экскаватора / Е. О. Подчасов, А. Д. Терентьева // *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 8 (68). – С. 1-14.
7. А. Д. Терентьева, Анализ точности выполнения работ рабочим механизмом одноковшового экскаватора / А. Д. Терентьева // *Приводы и компоненты машин*. 2017. – №5-6(26). – С. 14-18.
8. В. С. Щербаков, 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.
9. И. Варывдин, Мачты, ножницы и телескопы... / И. Варывдин // *Основные средства*, № 9, 2015. – С. 96 – 100.
10. Т. В. Луцко, Обоснование выбора автогидроподъемников при расширении их технологических возможностей / Т. В. Луцко // *Наукоемкие технологии и инновации. Международная научно-практическая конференция, посвященная 65-летию БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2019. С. 31-35.