

УДК (UDC) 621.86

КОНСТРУКЦИЯ И ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ КРАНО-МАНИПУЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИНDESIGN AND EVALUATION OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF
ENERGY EFFICIENT CRANE-MANIPULATOR INSTALLATION FOR
MOBILE TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MACHINESЛагереv А.В., Лагереv И.А.
Lagerev A.V., Lagerev I.A.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. В статье рассмотрена конструкция и особенности работы оригинальной энергоэффективной манипуляционной системы для проведения погрузочно-разгрузочных работ мобильной транспортно-технологической машиной. Ее конструктивной особенностью является замена гидравлического механизма возвратно-поворотного движения наиболее нагруженного звена на механизм возвратно-поступательного движения. Это позволило решить две важные задачи: существенно уменьшить величину эксплуатационной нагрузки, которую необходимо преодолевать силовому гидроцилиндру в процессе перемещения звена манипуляционной системы, а также обеспечить постоянство величины эксплуатационной нагрузки в течение всего времени вертикального перемещения транспортируемого груза. Применительно к конструкции и техническим характеристикам манипуляционной системы реальной мобильной машины был проведен сравнительный анализ энергоэффективности эксплуатации крана-манипулятора рассматриваемой и традиционной конструкции. Результаты анализа показали, что эксплуатация манипуляционной системы предложенной конструкции оказывается заметно более экономичной. Это объясняется снижением мощности гидропривода мобильной машины вследствие использования силового гидроцилиндра меньшего типоразмера, для работы которого требуется меньший объемный расход рабочей жидкости. В частности, для рассмотренной мобильной машины возможное уменьшение мощности насосной установки может составлять более 30%.

Ключевые слова: мобильная машина, гидропривод, кран-манипулятор, энергоэффективность.

Дата принятия к публикации: 22.06.2019
Дата публикации: 25.12.2019

Сведения об авторах:

Лагереv Александр Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВПО «Брянский го-

Abstract. The article describes the design and features of the original energy-efficient manipulation system for loading and unloading operations using a mobile transport and technological machine. The design feature of this manipulation system is the replacement of the hydraulic mechanism of the rotary motion of the most loaded link with the mechanism of translational motion. This made it possible to solve two important tasks: to significantly reduce the magnitude of the operational load that the power cylinder needs to overcome in the process of moving the link of the manipulation system, as well as to ensure the constancy of the magnitude of the operational load throughout the entire vertical movement of the transported cargo. In relation to the design and technical characteristics of the manipulation system of a real mobile machine, a comparative analysis was made of the energy efficiency of operating the crane-manipulator of the considered and traditional design. The results of the analysis showed that the operation of the manipulation system of the proposed design is much more economical. This is due to a decrease in the power of the hydraulic drive of the mobile machine due to the use of a power cylinder of a smaller size, which requires less volumetric flow rate of the working fluid. In particular, for the considered mobile machine, a possible reduction in pumping unit capacity may be more than 30%.

Keywords: mobile machine, hydraulic drive, crane-manipulator, energy efficiency.

Date of acceptance for publication: 22.06.2019
Date of publication: 25.12.2019

Authors' information:

Alexander V. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice director of Research Institute of Fundamental and Applied Research, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University,

сударственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: bsu-avl@yandex.ru.

ORCID: 0000-0003-0380-5456

Лагереv Игорь Александрович – доктор технических наук, доцент, проректор по инновационной работе ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831

e-mail: bsu-avl@yandex.ru.

ORCID: 0000-0003-0380-5456

Igor A. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice rector for Innovations, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект №17-79-10274)

Acknowledgements

The study was supported by the grant of Russian science Foundation (project No. 17-79-10274)

1. Введение

Краны-манипуляторы с гидравлическим приводом механизмов движения отдельных или совместных движений звеньев шарнирно-сочлененных манипуляционных систем, установленные на шасси мобильных транспортно-технологических машин и совершающие погрузочно-разгрузочные работы со штучными грузами, нашли широкое применение во многих отраслях экономики для механизации различных производственных процессов [1-4].

В настоящее время известно большое число как вариантов кинематических схем крано-манипуляторных систем, так и вариантов их конструктивного воплощения в реально выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью изделия [5, 6].

Как правило, крано-манипуляторная установка представляет собой многозвенный гидравлический кран-манипулятор, содержащий снабженную механизмом поворота вокруг вертикальной оси опорно-поворотную конструкцию и последовательно установленные и шарнирно связанные подвижные звенья, которые способны совершать возвратно-поступательное или возвратно-поворотное движение. Для обеспечения возвратно-поворотного движения звена в вертикальной плоскости в состав соответствующего механизма движения включается длинноходовой или телескопический силовой гидроцилиндр. Он располагается между опорно-поворотной конструкцией и нижним поворотным звеном или между последовательно расположенными звеньями манипу-

ляционной системы. При этом неподвижный корпус гидроцилиндра шарнирно соединен с металлоконструкцией соответственно опорно-поворотной конструкции или предыдущего подвижного звена, а оголовки подвижного штока гидроцилиндра шарнирно соединены с корпусом поворотного звена. При возвратно-поступательном перемещении штока силового гидроцилиндра под действием давления рабочей жидкости, подводимой к гидроцилиндру от насосной станции мобильной транспортно-технологической машины, происходит изменение угла между продольными осями смежных звеньев. Увеличение этого угла приводит к подъему поворотного звена и, соответственно, транспортируемого груза.

Характерным примером данной конструкции является трехзвенный кран-манипулятор, показанный на рис. 1, все звенья которого являются поворотными [7].

2. Постановка задачи исследования

Объективным недостатком конструктивной компоновки силового гидроцилиндра и приводимого им в движение в вертикальной плоскости поворотного звена манипуляционной системы совместно с транспортируемым грузом является неудачная (с точки зрения направления действия эксплуатационных нагрузок) ориентация продольной оси штока гидродвигателя по отношению к вертикальному направлению действия весовых нагрузок от веса транспортируемого груза и собственного веса металлоконструкции крана-манипулятора, которые вносят преимущественный вклад в его нагруженность [8, 9].

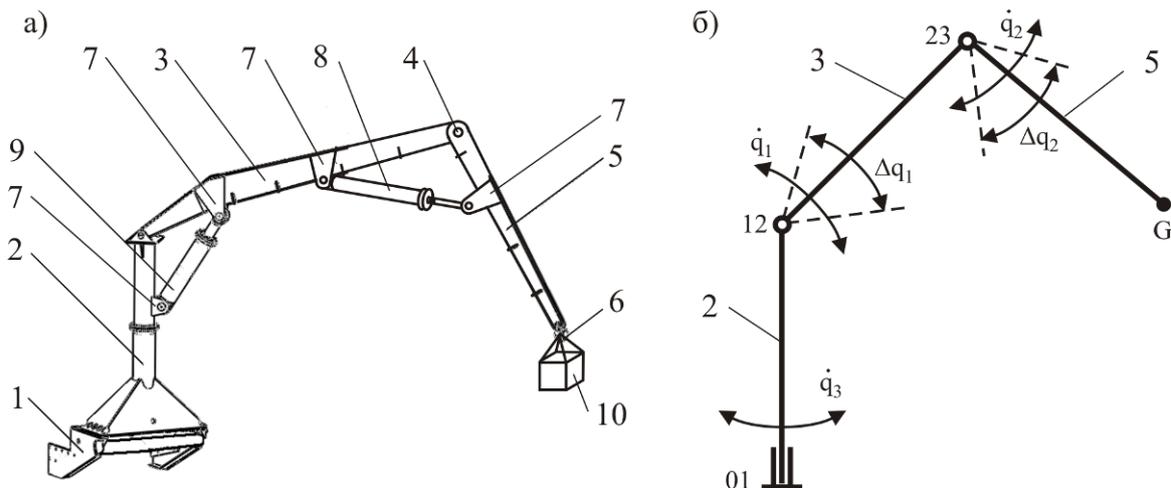


Рис. 1. Трехзвенный гидравлический кран-манипулятор мобильной машины [7]:

а - конструктивное исполнение; б – кинематическая схема

(1 - опорная конструкция; 2 - поворотная колонна; 3 - стрела; 4 - шарнирный узел соединения смежных звеньев; 5 - рукоять; 6 - грузозахватный орган; 7 - элементы крепления; 8 - силовой гидроцилиндр механизма поворотного движения рукояти; 9 - силовой гидроцилиндр механизма поворотного движения стрелы; 10 – груз)

Специфической конструкционной особенностью традиционной конструкции крана-манипулятора является то, что линия поступательного перемещения штока приводного силового гидроцилиндра, т.е. линия действия развиваемой гидроцилиндром движущей силы, всегда составляет острый угол с продольной осью перемещаемой им стрелы. В процессе поворотного движения стрелы этот угол изменяется. Для эксплуатирующихся в настоящее время гидравлических кранов-манипуляторов минимальное значение угла может снижаться до $\alpha = 8...12^\circ$, в результате чего необходимая для поворота стрелы движущая сила, развиваемая силовым гидроцилиндром, должна не менее, чем в $1/\sin \alpha \sim 5...7$ раз превышать сумму веса транспортируемого груза и веса металлоконструкции перемещаемых звеньев манипуляционной системы.

Поэтому практически важной технической задачей является задача уменьшения величины движущей силы, которую должен развивать силовой гидроцилиндр механизма движения звена манипуляционной системы при выполнении этим звеном необходимого возвратно-поворотного движения с требуемой паспортной скоростью. Уменьшение необходимой величины движущей силы позволит использовать гидроцилиндры меньшего

типоразмера с меньшим внутренним диаметром цилиндра, что приведет к снижению объемного расхода рабочей жидкости и, таким образом, к повышению энергоэффективности гидравлического привода крана-манипулятора за счет уменьшения мощности его насосной станции.

3. Конструкция и особенности работы энергоэффективной крано-манипуляторной установки

Одним из возможных вариантов решения поставленной задачи уменьшения величины движущей силы со стороны силового гидроцилиндра механизма движения звена манипуляционной системы является конструкция крано-манипуляторной установки, кинематическая схема которой приведена на рис. 2. Конструкция защищена патентом Российской Федерации № 189827 [10]. Предложенная установка является трехзвенной, ее кинематическая схема аналогична показанной на рис. 1. Однако реализуемый в ней принцип уменьшения типоразмера гидроцилиндра может быть распространен и на более сложные кинематические схемы при условии, что к опорной конструкции крепится поворотное звено манипуляционной системы.

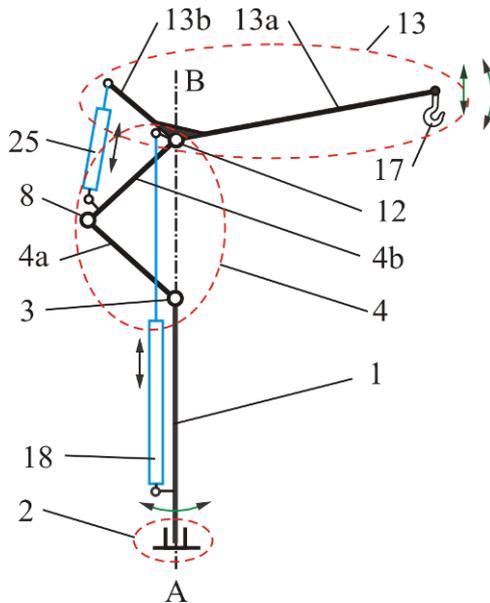


Рис. 2. Кинематическая схема крана-манипулятора энергоэффективной конструкции [10] (обозначения элементов крана приведены на рис. 3)

На рис. 3 и 4 показан общий вид крана-манипулятора энергоэффективной конструкции [10] сбоку, спереди и сзади. Гидравлический кран-манипулятор мобильной машины состоит из установленной вертикально опорно-поворотной конструкции 1, которая неподвижно закреплена своим основанием 2 на базовом шасси в точке А. К верхнему концу опорно-поворотной конструкции с помощью цилиндрического шарнирного соединения 3 крепится корневая секция стрелы 4, состоящая из двух звеньев 4а и 4b равной длины. Шарнирное соединение 3 образовано двумя парами изготовленных из толстостенного листового проката проушин 5 и 6. Первая из них неподвижно закреплена (например, с помощью сварки) на свободном конце опорно-поворотной конструкции 1, а вторая – на нижнем конце звена 4а. В соосные отверстия указанных проушин вставлен шарнирный палец 7, который обеспечивает кинематическую связь между опорно-поворотной конструкцией и звеном 4а корневой секции стрелы. В свою очередь, звенья 4а и 4b соединены между собой с помощью шарнирного соединения 8, которое позволяет им совершать возвратно-поворотное движение друг относительно друга в вертикальной плоскости. Это шарнирное соединение обра-

зовано двумя парами изготовленных из толстостенного листового проката проушин 9 и 10. Первая из них неподвижно закреплена на верхнем конце звена 4а, а вторая – на нижнем конце звена 4b. В соосные отверстия указанных проушин вставлен шарнирный палец 11, который обеспечивает кинематическую связь между звеньями 4а и 4b корневой секции стрелы. К концу звена 4b с помощью шарнирного соединения 12 крепится концевая секция стрелы 13, состоящая из двух звеньев 13а и 13b. Это шарнирное соединение образовано одной парой изготовленных из толстостенного листового проката проушин 14, которые неподвижно закреплены на верхнем конце звена 4b, и отверстиями в боковых стенках 15 коробчатого поперечного сечения концевой секции стрелы. В соосные отверстия указанных проушин и боковых стенок концевой секции стрелы вставлен шарнирный палец 16, который обеспечивает кинематическую связь между звеном 4b и концевой секцией стрелы 13. Звенья 13а и 13b жестко соединены между собой, причем их продольные оси образуют тупой угол β . На свободном конце концевой секции стрелы крепится грузозахватный орган 17 для закрепления транспортируемого груза.

Опорно-поворотная конструкция снабжена силовым гидродвигателем поршневого или шиберного типа, который обеспечивает ее возвратно-поворотное движение относительно вертикальной оси АВ. К опорно-поворотной конструкции неподвижно крепится силовой гидроцилиндр 18 механизма возвратно-поступательного движения концевой секции стрелы. Продольная ось силового гидроцилиндра 18 вертикальна и параллельна вертикальной оси АВ. Конец штока силового гидроцилиндра 18 через серьгу 19 шарнирно связан с шарнирным пальцем 16. Сам шарнирный палец 16 с помощью подшипниковой обоймы 20 закреплён в пазу 21 вертикально установленной направляющей 22, которая неподвижно укреплена на опорно-поворотной конструкции. Продольная ось направляющей 22 параллельна вертикальной оси АВ. Направляющая имеет продольный паз 21 для возвратно-поступательного перемещения шарнирного пальца 16. Направ-

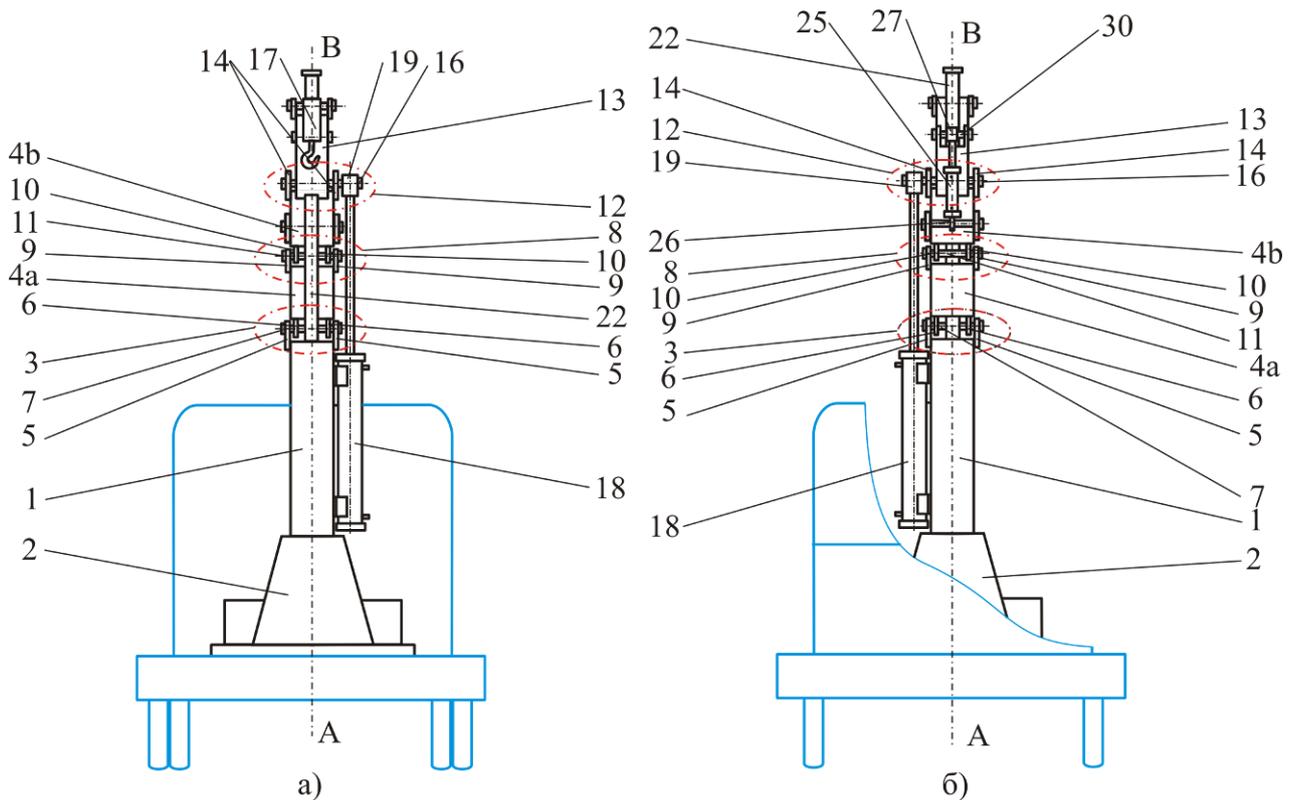


Рис. 4. Общий вид крана-манипулятора энергоэффективной конструкции [10]:
а – вид сзади мобильной машины (вид А на рис. 3);
б – вид спереди мобильной машины (вид В на рис. 3)

не имеет своего индивидуального механизма движения. Ее функциональное назначение заключается в обеспечении неразрывной кинематической связи между приводной концевой секцией 13 и опорно-поворотной конструкцией, а также в размещении силового гидроцилиндра 25 механизма возвратно-поворотного движения концевой секции. Силовой гидроцилиндр 18 за счет возвратно-поступательного смещения своего штока под действием подаваемой в его рабочие полости рабочей жидкости обеспечивает вертикальное возвратно-поступательное движение как единого целого концевой секции стрелы. Вертикальное движение концевой секции обеспечивается тем, что вертикальное движение имеет шарнирное соединение 12. Для этого на шарнирном пальце 16 установлена подшипниковая обойма 20. Она перемещается в продольном пазу 21 направляющей 22, неподвижно закрепленной на опорно-поворотной конструкции, причем ее продольная ось параллельна вертикальной оси АВ крана-манипулятора (рис. 5). Силовой гидроцилиндр 25 за счет возвратно-поступа-

тельного смещения своего штока под действием давления подаваемой в его рабочие полости рабочей жидкости обеспечивает возвратно-поворотное движение в вертикальной плоскости концевой секции как единого целого относительно продольной оси шарнирного соединения 12. Силовые гидроцилиндры 18 и 25 могут работать как раздельно, так и одновременно, в результате чего грузозахватное устройство 17 вместе с транспортируемым грузом могут совершать либо поступательное или поворотное движение в вертикальной плоскости, либо сложное поступательно-поворотное движение в вертикальной плоскости. При этом рабочая зона обслуживания крана-манипулятора, т.е. геометрическое место точек нахождения грузозахватного органа при всех возможных положениях штоков силовых гидроцилиндров механизмов движения крана-манипулятора, будет иметь цилиндрическую форму с формой поперечного сечения, показанного на рис. 6, а.

Звено 13а концевой секции стрелы может быть выполнено телескопическим. Это по-

звляет в процессе эксплуатации мобильной машины изменять длину звена 13а и, таким образом, увеличивать рабочую зону обслуживания

крана-манипулятора. Форма рабочей зоны в этом случае будет иметь вид, показанный на рис. 6, б.

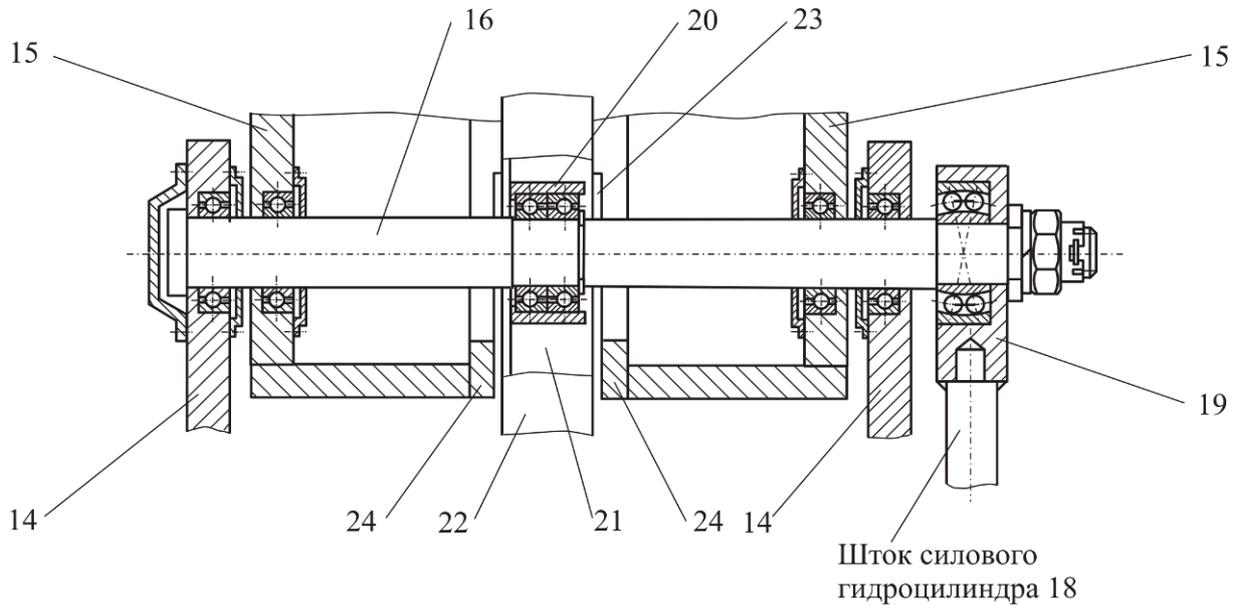


Рис. 5. Конструкция узла, обеспечивающего вертикальное перемещение концевой секции стрелы (разрез В-В на рис. 3). Крепежные и фиксирующие элементы частично не показаны

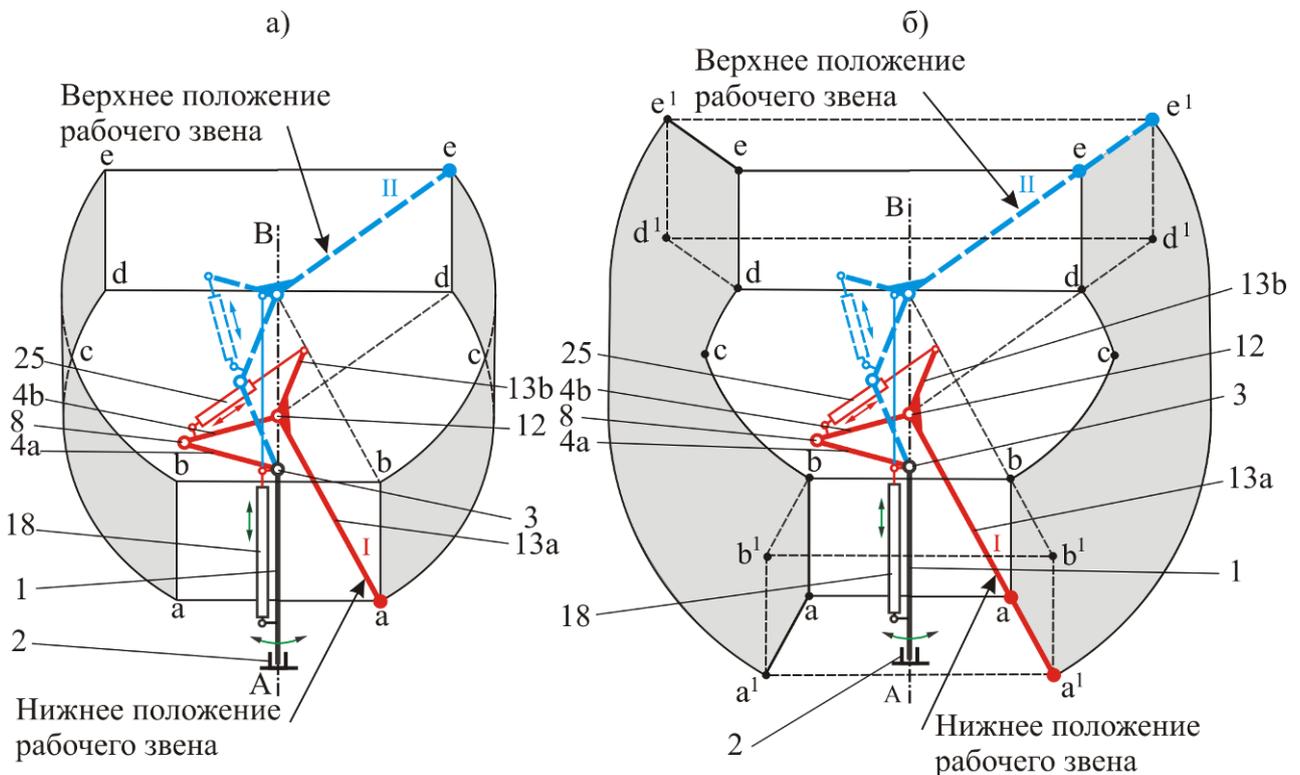


Рис. 6. Радиальное сечение рабочей зоны обслуживания крана-манипулятора:
 а – звено 13а концевой секции стрелы не является телескопическим;
 б – звено 13а концевой секции стрелы является телескопическим

4. Приближенная оценка энергоэффективности крано-манипуляторной установки

Для оценки эффективности конструкции рассматриваемой крано-манипуляторной установки проведем сравнительный анализ ее работы и работы крано-манипуляторной ус-

тановки традиционной конструкции (аналогичной приведенной на рис. 1).

Для этого рассмотрим и сравним условия нагружения силовых гидроцилиндров 18 и 31, обеспечивающих подъем-опускание стрелы крано-манипулятора мобильной машины. Расчетные схемы нагружения представлены на рис. 7.

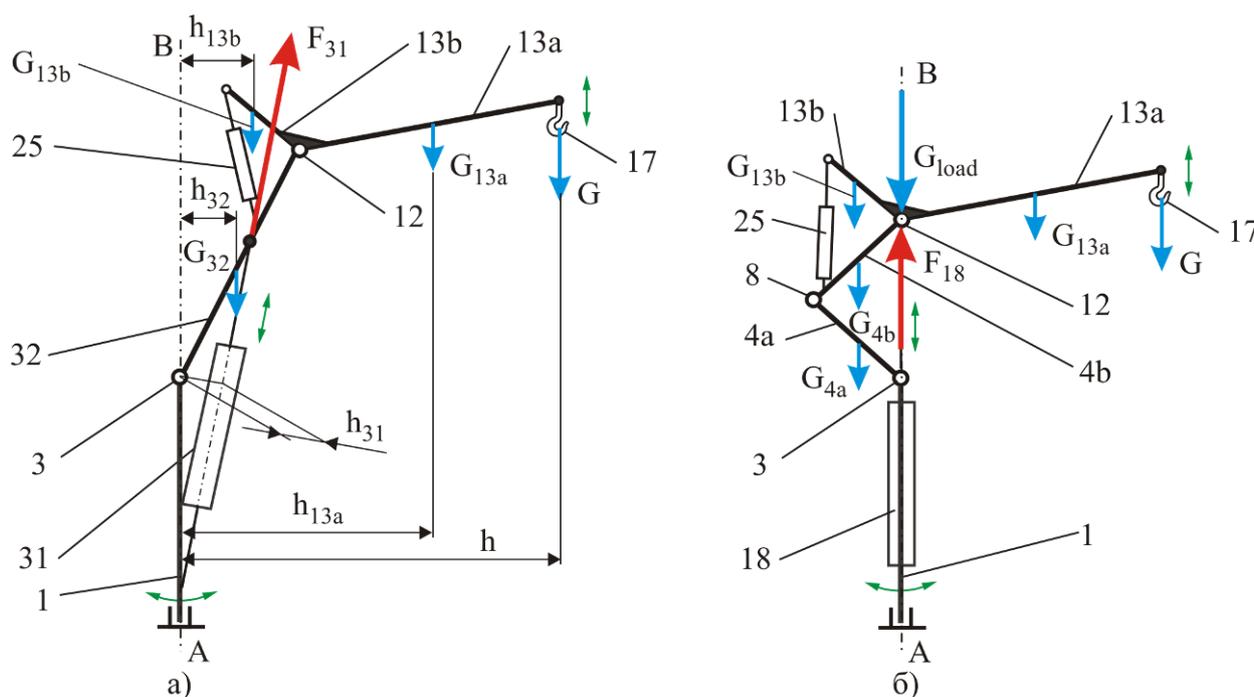


Рис. 7. Схема нагружения крано-манипулятора:

а – традиционной конструкции; б – рассматриваемой конструкции (обозначения соответствуют рис. 3; дополнительно: 31 - силовой гидроцилиндр механизма подъема стрелы; 32 – корневая секция стрелы)

В процессе работы крано-манипулятора традиционной конструкции силовой гидроцилиндр механизма подъема стрелы должен развить такое движущее усилие на своем штоке F_{31} , которое могло бы преодолеть возникающие эксплуатационные нагрузки от веса транспортируемого груза G , веса корневой секции стрелы 32 G_{32} , веса звеньев G_{13a} и G_{13b} (рис. 7, а). Из условия равновесия корневой секции 32 относительно шарнирного соединения 3 можно определить искомое усилие по зависимости

$$F_{31} = \frac{Gh + G_{32}h_{32} + G_{13a}h_{13a} + G_{13b}h_{13b}}{h_{31}}, \quad (1)$$

где h - плечо действия веса груза относительно шарнирного соединения 3; h_{32} - плечо

действия веса корневой секции стрелы 32 относительно шарнирного соединения 3; h_{13a} , h_{13b} - плечи действия веса звеньев 13а и 13b относительно шарнирного соединения 3; h_{31} - плечо действия усилия, развиваемого силовым гидроцилиндром механизма подъема стрелы 31, относительно шарнирного соединения 3.

Анализ расчетной схемы нагружения традиционной конструкции крано-манипулятора и формулы (1) показывает, что величина усилия F_{31} изменяется в процессе работы манипуляционной системы и достигает своего максимального значения $F_{31,max}$ при максимально поднятом положении корневой секции стрелы 32, так как в этом по-

ложении плечо h_{31} действия усилия, развиваемого силовым гидроцилиндром механизма подъема стрелы 31, относительно шарнирного соединения 3 оказывается минимальным. Известные данные [11] говорят о том, что при подъеме стрелы величина F_{31} может изменяться в 4...6 раз и более. Мощность силового гидроцилиндра механизма подъема стрелы 31 согласно [12-14] приближенно определяется зависимостью

$$N_{31} = vF_{31,\max}\eta, \quad (2)$$

где v - паспортная скорость движения штока гидроцилиндра; η - коэффициент полезного действия гидропривода.

В случае рассматриваемой конструкции крана-манипулятора в процессе его работы силовым гидроцилиндром 18 механизма возвратно-поступательного движения концевой секции стрелы 13 должен развить такое движущее усилие на своем штоке F_{18} , которое могло бы преодолеть возникающие эксплуатационные нагрузки от веса транспортируемого груза G , веса звеньев G_{4a} и G_{4b} корневой секции стрелы, веса звеньев G_{13a} и G_{13b} концевой секции стрелы (рис. 7, б). Из условия равновесия проекций сил, приведенных к шарнирному соединению 12, относительно вертикальной оси АВ можно определить искомое усилие по зависимости:

$$F_{18} = G_{load} = G + G_{4a} + G_{4b} + G_{13a} + G_{13b}. \quad (3)$$

Анализ расчетной схемы нагружения (рис. 7, б) и формулы (3) показывает, что величина усилия F_{18} не изменяется в процессе работы крана-манипулятора и остается постоянной независимо от положения стрелы. Таким образом, рассматриваемая конструкция обеспечивает стабильные условия нагружения силового гидроцилиндра 18 при производстве работ. Это положительно сказывается на показателях надежности (долговечности и безотказности) крана-манипулятора в целом. Мощность силового гидроцилиндра 18 также приближенно определяется зависимостью, аналогичной формуле (2):

$$N_{18} = vF_{18}\eta. \quad (4)$$

Преимущество крана-манипулятора рассматриваемой конструкции перед краном-манипулятором традиционной конструкции

по энергоэффективности гидропривода крана-манипуляторной установки может быть количественно выражено с помощью относительного коэффициента энергоэффективности, равного отношению необходимой мощности силовых гидроцилиндров 18 и 31:

$$K_e = \frac{N_{31}}{N_{18}} \approx \frac{F_{31,\max}}{F_{18}}. \quad (5)$$

Расчеты показывают, что во всех случаях коэффициент $K_e \geq 1$.

В качестве примера выполним количественную оценку энергоэффективности рассматриваемой конструкции применительно к характеристикам выпускаемой отечественной промышленностью мобильной энергетической машины АСТ-4-А для сварки магистральных трубопроводов [15], которая оснащена гидравлическим краном-манипулятором номинальной грузоподъемности $G = 7,5$ кН. Кинематическая схема крана-манипулятора этой машины соответствует рис. 7. Согласно имеющимся расчетам [7], величина максимального усилия на штоке силового гидроцилиндра составляет $F_{31,\max} = 78$ кН. Величина усилия F_{18} , рассчитанная по формуле (3) на основании паспортных характеристик машины АСТ-4-А, составляет $F_{18} = 12,3$ кН. Таким образом, для крана-манипулятора указанной мобильной машины коэффициент энергоэффективности $K_e = 6,3$, т.е. использование крана-манипулятора рассматриваемой конструкции позволяет приблизительно в 6 раз снизить мощность силового гидроцилиндра механизма подъема стрелы и, таким образом, существенно уменьшить суммарную мощность крановой гидростанции.

В абсолютных цифрах это выражается следующими значениями:

- мощность крановой гидростанции традиционной крано-манипуляторной установки (суммарная мощность трех силовых гидроцилиндров механизмов движения) составляет 33 кВт;

- мощность крановой гидростанции рассматриваемой крано-манипуляторной установки могла бы составить 22 кВт.

Таким образом, использование рассматриваемой конструкции крана-манипулятора

позволяет экономить до 33% электроэнергии при выполнении погрузочно-разгрузочных работ одинаковой интенсивности.

5. Заключение

Исследованная в статье конструкция оригинальной гидравлической манипуляционной системы для проведения погрузочно-разгрузочных работ мобильной транспортно-технологической машиной, конструктивной особенностью которой является замена гидравлического механизма возвратно-поворотного движения наиболее нагруженного звена крана-манипулятора на механизм его возвратно-поступательного движения, имеет более высокие показатели энергоэффективности, чем аналогичные по функциональному назначению манипуляционные системы традиционного конструкционного исполнения.

Исследованная конструкция позволяет решить две практически важные задачи, свя-

занные с работой манипуляционных систем мобильных машин:

1) существенно уменьшить величину эксплуатационной нагрузки, которую необходимо преодолеть силовому гидроцилиндру в процессе перемещения звена манипуляционной системы;

2) обеспечить постоянство величины эксплуатационной нагрузки в течение всего времени вертикального перемещения транспортируемого груза.

Результаты сравнительного количественного анализа применительно к характеристикам реальной мобильной машины показали, что эксплуатация манипуляционной системы предложенной конструкции оказывается заметно более экономичной. Это объясняется уменьшением мощности гидропривода мобильной машины вследствие использования силового гидроцилиндра меньшего типоразмера, для работы которого требуется меньший объемный расход рабочей жидкости.

Список литературы

1. Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины. М.: Машиностроение, 1989. 536 с.
2. Белецкий Б.Ф., Булгакова И.Г. Строительные машины и оборудование. Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. 608 с.
3. Новоселов В. Время перемен. Российский рынок гидроманипуляторов // Строительная техника и технологии. 2013. №4. С. 98-110.
4. Бандурин Р.А. Рынок кранов-манипуляторов в России // Проблемы современной экономики. 2015. № 26. С. 138-142.
5. Лагереv И.А., Лагереv А.В. Современная теория манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов. Конструкции и условия эксплуатации. Брянск: РИО БГУ, 2018. 190 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1294622>
6. Лагереv И.А. Сравнительный анализ гидравлических кранов-манипуляторов транспортно-технологических машин и гидравлических манипуляторов промыш-

References

1. Vaynson A.A. *Podemno-transportnye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1989. 536 p. (In Russian)
2. Beletskiy B.F. *Stroitelnye mashiny i oborudovaniya* [Construction machinery and equipment]. Rostov-na-Donu, Feniks, 2005. 608 p. (In Russian)
3. Novoselov V. Vremya peremen. Rossiyskiy rynek gidromanipulyatorov. *Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii*, 2013, No.4, pp. 98-110. (In Russian)
4. Bandurin R.A. Rynek kranov-manipulyatorov v Rossii [The market for cranes in Russia]. *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 2015, No.26, pp. 138-142. (In Russian)
5. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Sovremennaya teoriya manipulatsionnykh sistem mobilnykh mnogotselovykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov. Konstruktsiya i usloviya ekspluatatsii* [Modern theory of manipulation systems of mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes. Design and operating conditions]. Bryansk, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, 2018. 190 p.

ленных роботов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2016. №3. С. 16-43. DOI: 10.5281/zenodo.1198767

7. Лагереv А.В., Лагереv И.А. Моделирование рабочих процессов в дроссельно-регулируемом гидроприводе манипуляционных систем мобильных машин при раздельном движении звеньев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2018. №4. С. 355-379. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-04-355-379>

8. Александров М.П. Грузоподъемные машины. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; Высшая школа, 2000. 552 с.

9. Лагереv А.В. Нагруженность подъемно-транспортной техники. Брянск: БГТУ, 2010. 180 с.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1306614>

10. Патент № 189827 РФ. Гидравлический кран-манипулятор мобильной машины / А.В. Лагереv, И.А. Лагереv. № 2019107253; заявл. 13.03.19; опубл. 05.06.2019. Бюл. № 16.

11. Лагереv И.А., Лагереv А.В. Динамика трехзвенных гидравлических кранов-манипуляторов. Брянск: БГТУ, 2012. 196 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1202224>

12. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.

13. Берестов Е.И. Гидропривод строительных и дорожных машин. Могилев: БРУ, 2007. 214 с.

14. Лагереv А.В. Проектирование насосных гидроприводов подъемно-транспортной техники. Брянск: БГТУ, 2006. 232 с.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1311892>

15. Лагереv И.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 4. С. 29-36.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1294622>
(In Russian)

6. Lagerev I.A. Comparative analysis of hydraulic crane-manipulating installations transport and technological machines and industrial robots hydraulic manipulators. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.3, pp. 16-49.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1198767>
(In Russian)

7. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Modeling of working processes in the throttle-adjustable hydraulic drive of manipulation systems with separate movement of links during operation of mobile machines. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.4, pp. 355-379. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2018-04-04-355-379> (In Russian)

8. Aleksandrov M.P. *Gruzopodemnye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, MGTU imeni N.E. Bauman, 2000. 552 p. (In Russian)

9. Lagerev A.V. *Nagruzhennost podemno-transportnoy tekhniki* [Load lifting and transport equipment]. Bryansk, BGTU, 2010. 180 p. ISBN 978-5-89838-497-5

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1306614>
(In Russian)

10. Patent RU 189827, B66C 23/16. *Gidravlicheskiy kran-manipulyator mobilnoy mashiny* [The hydraulic crane-manipulator of a mobile machine]. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Declared 13.03.2019. Published 05.06.2019. (In Russian)

11. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Dinamika trekhzvennykh gidravlicheskiy kranov-manipulyatorov* [Dynamics three-tier hydraulic crane-manipulators]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Tekhnicheskii Universitet, 2012. 196 p. ISBN 978-5-89838-608-5. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1202224>
(In Russian)

12. Bashta T.M., Rudnev S.S., Nekrasov B.B. *Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody* [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives]. Moscow, Mashinostroenie, 1982. 424 p. (In Russian)

13. Berestov E.I. *Gidroprivod stroitelnykh i*

† *dorozhnykh mashin* [Hydraulic drive of construction and road machines]. Mogilev, BRU, 2007. 214 p.

† 14. Lagerev A.V. *Proektirovanie nasosnykh gidroprivodov podemno-transportnykh mashin* [The design of pump hydraulic drives of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet, 2006. 232 p.

† DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1311892>
† (In Russian)

† 15. Lagerev I.A. Simulation of stress-strain state in crane-manipulator of pipeline welding machine. *Izvestiya vyshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*, 2011, No.4, pp. 29-36.
† (In Russian)