

УДК 621.865.8

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА МАНИПУЛЯТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УКЛАДКИ БОРДЮРНЫХ КАМНЕЙ НА БАЗЕ АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ

ХМАРА Л. А.¹, *д.т.н., проф.*КУЛИК И. А.^{2*}, *к.т.н., доц.*ПИКУШ Ю. С.^{3*}, *инж.*

^{1*} Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-79-30, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

^{2*} Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (067) 993-77-54, e-mail: kulik_i_a@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2322-9858

^{3*} Днепродзержинск, Украина, тел. +38 (066) 345-65-30, e-mail: pikush_yuriy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6326-1676

Анотация. Постановка вопроса. В настоящее время укладка бордюрных камней является процессом с очень высокой долей ручного труда. БК транспортируются вдоль дорожного полотна с помощью крюковых подвесок и строп. Вследствие низкой производительности труда и низкой скорости монтажа БК вдоль дорожного полотна, исследование возможности применения захватного манипуляторного оборудования для этих работ является актуальным. **Цель статьи.** Разработка и определение рациональных параметров привода гидроуправляемого манипуляторного оборудования с рабочим органом в виде вилочного захвата, установленного на шасси грузового автомобиля, позволяющего исключить строповочные операции при монтаже БК и сократить долю ручного труда, а также транспортировать БК вдоль дороги, исключая наличие дополнительной машины и возвратных операций машины. **Выводы.** Разработанное манипуляторное оборудование на автомобильном шасси с рабочим органом в виде вилочного захвата позволяет выполнять разгрузку и монтаж БК без строповочных операций непосредственно из кузова автомобиля в проектное положение с минимумом затрат ручного труда. Полученные в результате расчета варианты гидромеханизмов соответствуют ряду нормализованных диаметров поршня D и штока d, позволяют выполнить компоновку манипуляторного оборудования с унифицированными по диаметру поршня гидромеханизмами. Определены минимально-допустимые хода поршня для каждого механизма и минимально-допустимые расчетные значения координат крепления шарниров гидроцилиндра к базовому и ведомому звеньям.

Ключевые слова. Манипуляторное оборудование, бордюрные камни, рациональные параметры установки гидроцилиндров.

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДУ МАНІПУЛЯТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВКЛАДАННЯ БОРДЮРНИХ КАМЕНІВ НА БАЗІ АВТОМОБІЛЯ КАМАЗ

ХМАРА Л. А.¹, *д.т.н., проф.*КУЛИК І.А.^{2*}, *к.т.н., доц.*ПІКУШ Ю.С.^{3*}, *інж.*

¹ Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-79-30, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

^{2*} Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (067) 993-77-54, e-mail: kulik_i_a@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2322-9858

^{3*} Дніпродзержинськ, Україна, тел. +38 (066) 345-65-30, e-mail: pikush_yuriy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6326-1676

Анотація. Постановка питання. В даний час укладання бордюрних каменів є процесом з дуже високою часткою ручної праці. БК транспортуються вздовж дорожнього полотна за допомогою гакових підвісок і строп. Внаслідок низької продуктивності праці і низької швидкості монтажу БК уздовж дорожнього полотна, дослідження можливості застосування з манипуляторного обладнання для цих робіт є актуальним. **Мета статті.** Розробка і визначення раціональних параметрів приводу гідрокерованого манипуляторного обладнання з робочим органом у вигляді вилочного захвату, встановленого на шасі вантажного автомобіля, що дозволяє виключити стропувальні операції при монтажі БК і скоротити частку ручної праці, а також транспортувати БК уздовж дороги, виключаючи наявність додаткової машини і зворотних операцій основної машини. **Висновки.** Розроблене манипуляторне обладнання на автомобільному шасі з робочим органом у вигляді вилочного захвату дозволяє виконувати розвантаження і монтаж БК без стропувальних операцій безпосередньо з кузова автомобіля в проектне положення з мінімумом затрат ручної праці. Отримані в результаті розрахунку варіанти гідромеханізмів відповідають ряду нормалізованих діаметрів поршня D і штока d, дозволяють виконати компоновку манипуляторного

обладання з уніфікованими по діаметру поршня гідромеханізмами. Визначено мінімально-допустимі ходи поршня для кожного механізму і мінімально-допустимі розрахункові значення координат кріплення шарнірів гідроциліндра до базової і відомої ланок.

Ключові слова: Маніпуляторне обладнання, бордюрні камені, раціональні параметри встановлення гідроциліндрів.

INVESTIGATION OF THE KINEMATIC PARAMETERS OF THE GEARING MANIPULATOR EQUIPMENT FOR LAYING CURBSTONES BASED CAR KAMAZ

KHMARA L. A.¹, *Doctor of Technical Sciences, Professor.*

KULYK I. A.^{2*}, *Ph. D.*

PIKUSH Y. S.^{3*}, *engineer.*

¹ Department of building and road machines, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-79-30, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

^{2*} Department of building and road machines, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (067) 993-77-54, e-mail: kulik_i_a@ukr.net, 0000-0002-2322-9858

^{3*} Dniprodzergynsk, Ukraine, tel. +38 (066) 345-65-30, e-mail: pikush_yuriy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6326-1676.

Summary. Raising of problem. Nowadays curbstones laying is a process with very high part of manual labor. Due to low labor productivity and low speed of BC mounting along the roadway, investigation of manipulative equipment application possibility for these works is relevant. **Purpose.** The development and definition of rational parameters of the drive hydraulic-controlled manipulator equipment working body in the form of forks mounted on a truck chassis, eliminates strapping operation at installation curbstones and to reduce the share of manual labor, as well as to transport the curbstones along the road, except for the presence of additional machines and return operations cars. **Conclusion.** The resulting calculation options hydraulic mechanism meet a number of normalized diameters of the piston rod D and d can perform layout Manipulative equipment with standardized the diameter of piston hydraulic mechanism minimally acceptable moves the piston for each mechanism and the optimal calculated values of the coordinates hinge mounting cylinder to the base and driven links.

Key words. Manipulative equipment, curbstones, rational parameters of hydraulic cylinders installed.

Постановка вопроса. В настоящее время укладка бордюрных камней (БК) является процессом с очень высокой долей ручного труда. БК транспортируются вдоль дорожного полотна с помощью крюковых подвесок и строп.

В ноябре 2011 г. при реконструкции проспекта Петровского в г. Днепропетровске применялось манипуляторное оборудование с крюковой подвеской на базе трактора ЮМЗ, рис. 1,а. БК транспортировались вдоль дорожного полотна на крюковой подвеске и стропах, а далее два-три человека выполняли кантование в положение грузовыми петлями вниз и установку БК при помощи ручных рычажных приспособлений, рис. 1,б.

В августе 2012 г. при реконструкции проспекта Юбилейный в г. Днепропетровске применялась следующая технология монтажа БК:

1 БК транспортировались вдоль дорожного полотна на бортовом грузовике, с

установленным в задней части кузова краном-манипулятором с крюковой подвеской.

2 Разгрузка БК вдоль дорожного полотна осуществлялась с помощью крюковой подвески и строп, рис. 2, а.

3 Далее два человека при помощи рычажных приспособлений кантовали и устанавливали БК вдоль дорожного полотна, рис. 2, б.

Вследствие низкой производительности труда и низкой скорости монтажа БК вдоль дорожного полотна, исследование возможности применения захватного манипуляторного оборудования для этих работ является актуальным [1, 2, 6, 7, 8].

Анализ публикаций. Известно гидроуправляемое манипуляторное оборудование, разработанное на кафедре СДМ ПГАСА, с рабочим органом в виде захвата вилочного типа, установленное на базе трактора ДТ-75 (рис. 3), позволяющее исключить строповочные операции при

монтаже БК и сократить долю ручного труда [3, 4]. Недостатком данного оборудования есть то, что оно установлено на гусеничном тракторе, который может гусеницами повредить асфальтовое дорожное покрытие, а также несовершенство технологического цикла, так как БК транспортируются вдоль дороги либо на рядом едущем автомобиле, либо трактору необходимо совершать челночные движения к месту складирования БК.

Цель статьи. Цель данной работы - разработка и определение рациональных параметров привода гидроуправляемого манипуляторного оборудования с рабочим органом в виде вилочного захвата, установленного на базе автомобиля КАМАЗ (рис. 4, 5), позволяющего исключить

строповочные операции при монтаже БК и сократить долю ручного труда, а также транспортировать БК вдоль дороги, исключая наличие дополнительной машины и возвратных операций машины.

Изложение основного материала. Для определения рациональных параметров гидроцилиндров и координат их крепления к элементам манипуляторного оборудования, была применена методика [5]. Предлагаемая методика позволяет с помощью ЭВМ для каждого нормализованного значения диаметра поршня D и штока d рассчитать требуемое (минимально-допустимое) значение хода поршня S и полярные координаты ρ и l крепления шарниров гидроцилиндра к базовому и ведомому звеньям.



а



б

Рис. 1. Реконструкция проспекта Петровского в г. Днепропетровске в 2010 г.: а – оборудование с крюковой подвеской для разгрузки БК; б – монтаж БК.



а



б

Рис. 2. Реконструкция проспекта Юбилейный в г. Днепропетровске в 2012 г.: а – разгрузка БК; б – монтаж БК.

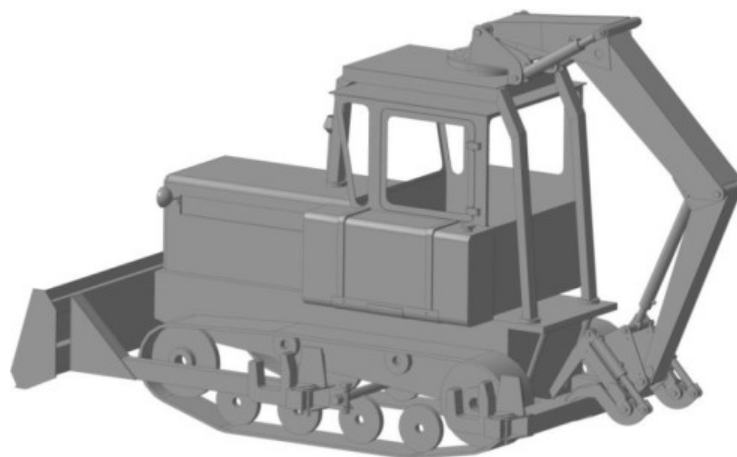


Рис. 3. Гидроуправляемое манипуляторное оборудование, разработанное на кафедре СДМ ПГАСА, с рабочим органом в виде захвата вилочного типа, установленное на базе трактора ДТ-75.

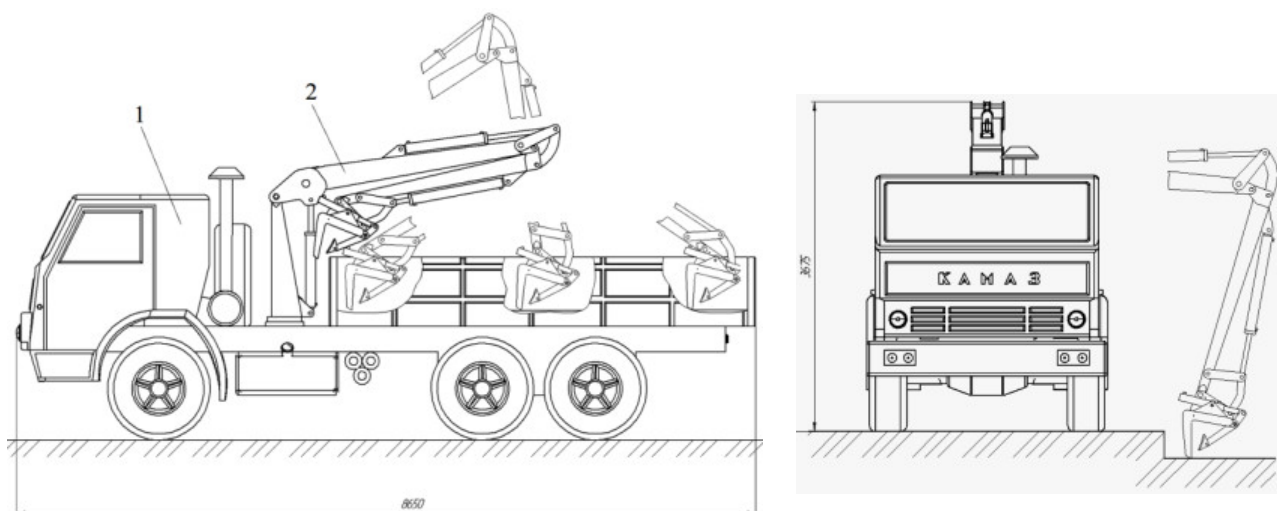


Рис. 4. Манипуляторное рабочее оборудование для укладки БК на базе автомобиля КАМАЗ: 1 – автомобиль КАМАЗ; 2 – манипуляторное рабочее оборудование для укладки БК.

Расчетные схемы для механизма подъема стрелы показаны на рис. 6.

Момент сопротивления повороту стрелы в конечном положении

$$M_{к.с.} = G_{стр} l_{стр}^k + G_{ц.пов.р.} l_{ц.пов.р.}^k + G_{рук} l_{рук}^k + G_{ц.пов.з.} l_{ц.пов.з.}^k + G_{вил} l_{вил}^k + G_{прижк.} l_{прижк.}^k + G_{бк} l_{бк}^k$$

Момент сопротивления повороту стрелы в начальном положении

$$M_{н.с.} = G_{стр} l_{стр}^h + G_{ц.пов.р.} l_{ц.пов.р.}^h + G_{рук} l_{рук}^h + G_{ц.пов.з.} l_{ц.пов.з.}^h + G_{вил} l_{вил}^h + G_{прижк.} l_{прижк.}^h + G_{бк} l_{бк}^h$$

По результатам расчета, строим графики зависимостей усилия гидроцилиндра, координат крепления шарниров ρ и l от диаметра D гидроцилиндра (рис. 7).

Все двенадцать полученных в результате расчета оптимизированных вариантов гидромеханизма подъема стрелы с диаметром поршня от 32 мм до 160 мм являются равноценными по силовым характеристикам, так как для всех вариантов расчетные значения $M_{н.с.}$ и $M_{к.с.}$ не изменяются. Гидромеханизм с гидроцилиндром у которого диаметр больше 160 мм не удовлетворяют условию $\rho_{min}=2d_0$. Различие полученных механизмов состоит в том, что при меньшем диаметре гидроцилиндра требуется больший ход поршня и большие координаты ρ и l , а для гидроцилиндра с наибольшим диаметром значения S , ρ и l малы и механизм получается компактным.

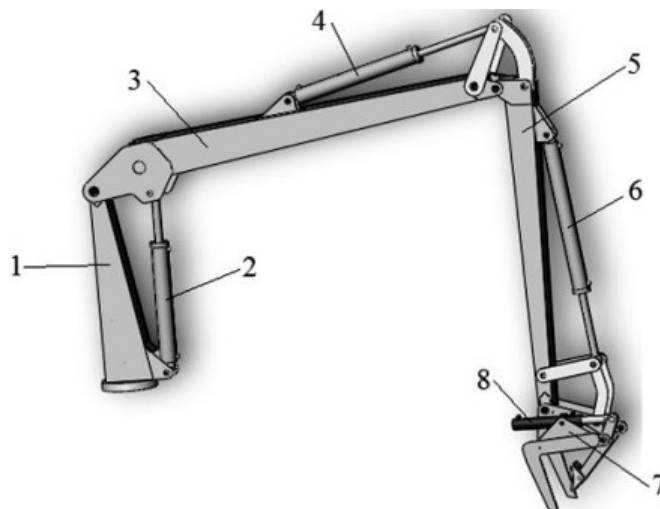


Рис. 5. Разработанная в САПР объемная модель манипуляторного рабочего оборудования для укладки БК:
 1 – поворотная колонка; 2 – гидроцилиндр подъема стрелы; 3 – стрела; 4 – гидроцилиндр поворота рукояти; 5 – рукоять; 6 – гидроцилиндр поворота захвата; 7 – захват с колодкой; 8 – гидроцилиндр управления захватом.

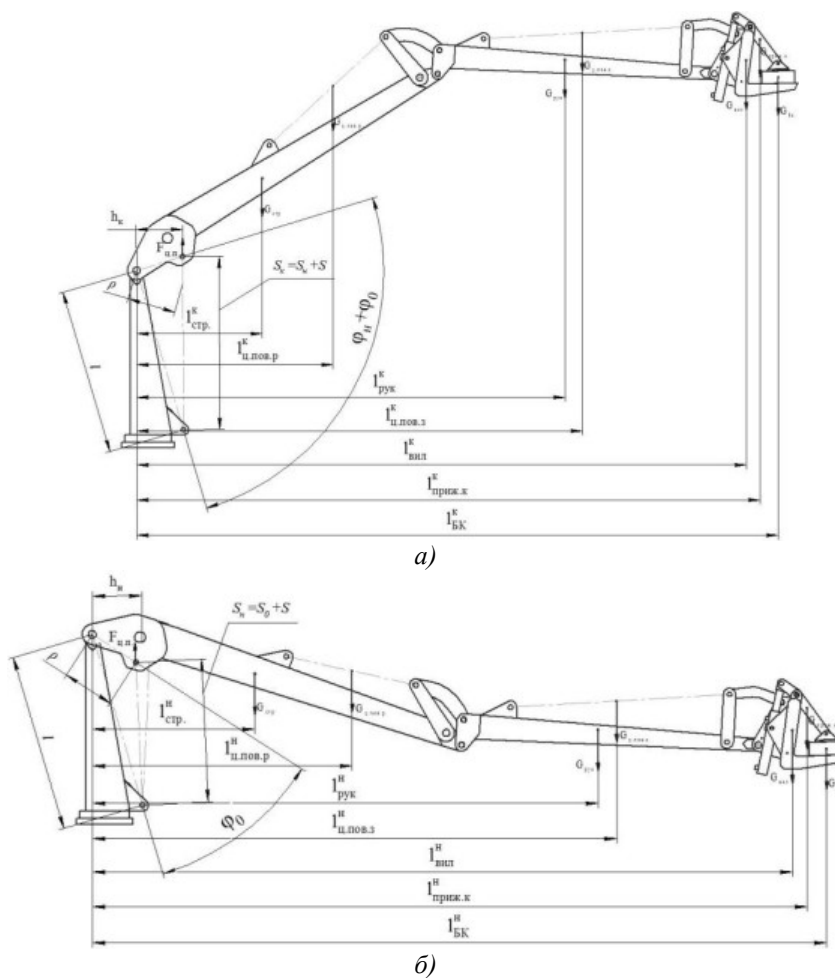


Рис. 6. Схемы к расчету механизма подъема стрелы при полностью выдвинутых (а) и втянутых (б) штоках гидроцилиндров, штоки гидроцилиндров рукояти и захвата в положении при котором создается максимальный момент.

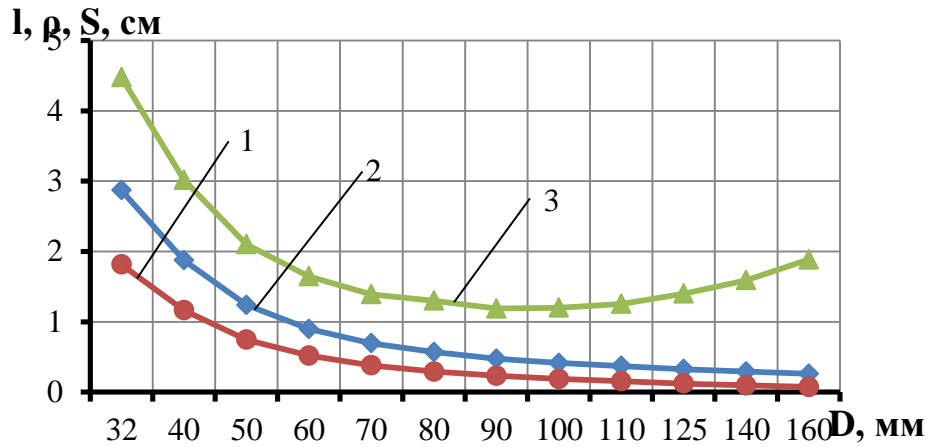


Рис. 7. Зависимости координат крепления шарниров гидроцилиндра ρ , l и хода поршня S от его диаметра D для механизма подъема стрелы:
 1 – зависимость $S=f(D)$; 2 – зависимость $\rho=f(D)$; 3 – зависимость $l=f(D)$.

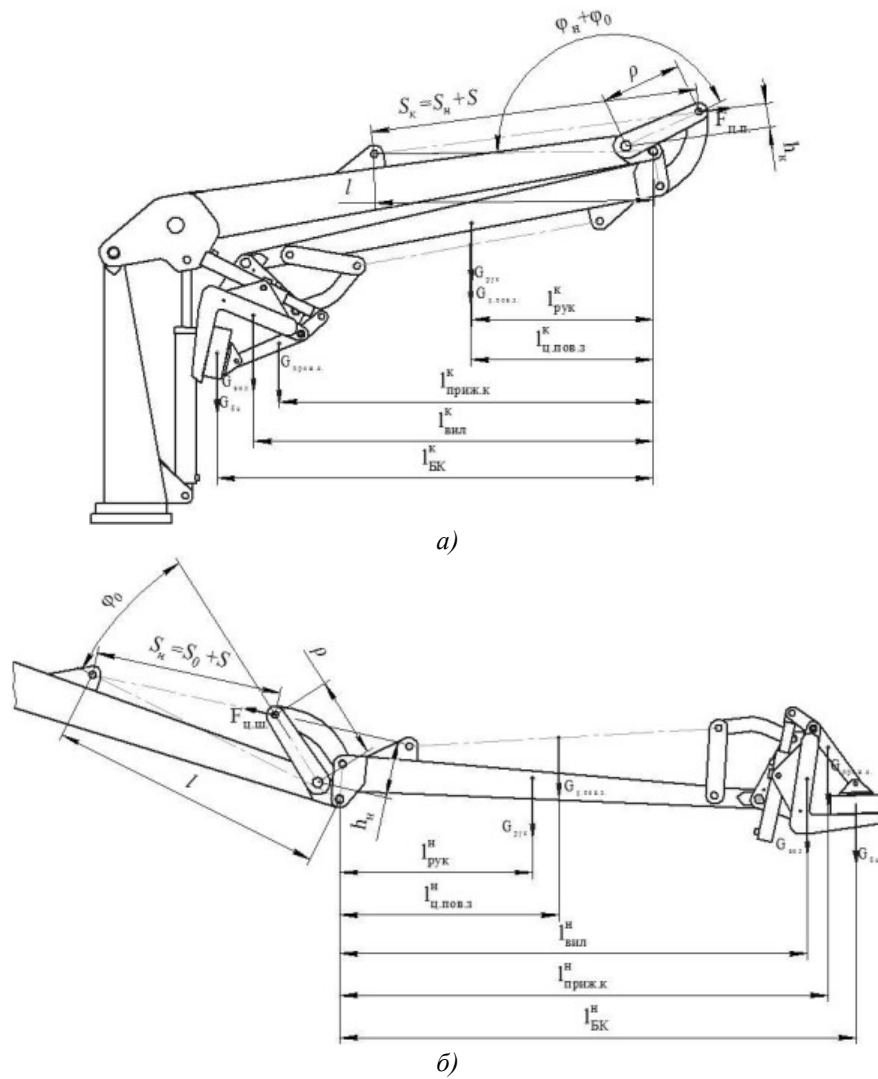


Рис. 8. Схемы к расчету механизма поворота рукояти при полностью выдвинутом а) и полностью втянутом б) штоке гидроцилиндра, остальные элементы расположены так, чтобы создавать максимальный момент).

На рис. 8 показаны расчетные схемы для расчета механизма поворота рукояти.

Момент сопротивления повороту рукояти в конечном положении

$$M_{к.р.} = G_{рук} I_{рук}^к + G_{ц.повз.} I_{ц.повз.}^к + G_{вил} I_{вил}^к + G_{прижр.} I_{прижр.}^к + G_{бк} I_{бк}^к$$

Момент сопротивления повороту рукояти в начальном положении

$$M_{н.р.} = G_{рук} I_{рук}^н + G_{ц.повз.} I_{ц.повз.}^н + G_{вил} I_{вил}^н + G_{прижр.} I_{прижр.}^н + G_{бк} I_{бк}^н$$

По результатам расчета, строим графики зависимостей усилия гидроцилиндра, координат крепления шарниров ρ и l от диаметра D гидроцилиндра (рис. 9).

Все двенадцать полученных в результате расчета оптимизированных вариантов гидромеханизма поворота рукояти с диаметром поршня от 32 мм до 160 мм являются равноценными по силовым характеристикам, так как для всех вариантов

расчетные значения $M_{н.р.}$ и $M_{к.р.}$ не изменяются. Гидромеханизм с гидроцилиндром у которого диаметр больше 160 мм не удовлетворяет условию $\rho_{\min}=2d_0$. Различие полученных механизмов состоит в том, что при меньшем диаметре гидроцилиндра требуется больший ход поршня и большие координаты ρ и l , а для гидроцилиндра с наибольшим диаметром значения S , ρ и l малы и механизм получается компактным.

На рис. 10 и 11 показаны расчетные схемы механизма поворота захвата.

Момент сопротивления повороту захвата в начальном и конечном положениях

$$M_{н.з.} = G_{вил} I_{вил}^н + G_{прижр.} I_{прижр.}^н + G_{бк} I_{бк}^н$$

$$M_{к.з.} = G_{вил} I_{вил}^к + G_{прижр.} I_{прижр.}^к + G_{бк} I_{бк}^к$$

По результатам расчета, строим графики зависимостей усилия гидроцилиндра, координат крепления шарниров ρ и l от диаметра D гидроцилиндра (рис. 12).

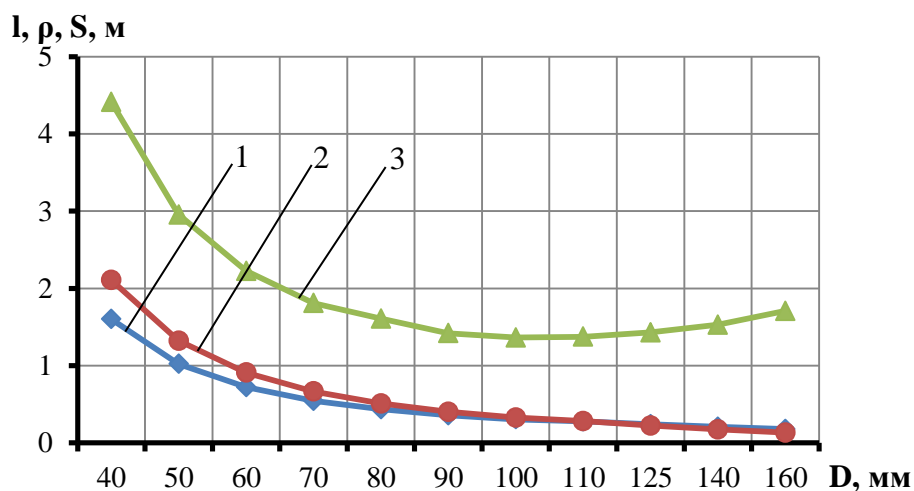


Рис. 9. Графики зависимостей координат крепления шарниров гидроцилиндра ρ , l и хода S от его диаметра D для механизма поворота рукояти: 1 – зависимость $\rho=f(D)$; 2 – зависимость $S=f(D)$; 3 – зависимость $l=f(D)$

На рис. 10 и 11 показаны расчетные схемы механизма поворота захвата. Момент сопротивления повороту захвата в начальном и конечном положениях:

$$M_{н.з.} = G_{вил} I_{вил}^н + G_{прижр.} I_{прижр.}^н + G_{бк} I_{бк}^н$$

$$M_{к.з.} = G_{вил} I_{вил}^к + G_{прижр.} I_{прижр.}^к + G_{бк} I_{бк}^к$$

По результатам расчета, строим графики зависимостей усилия гидроцилиндра, координат крепления шарниров ρ и l от диаметра D гидроцилиндра (рис. 12). Все полученные в результате расчета шесть

оптимизированных вариантов гидромеханизма с диаметром поршня от 32 мм до 80 мм являются равноценными по силовым характеристикам, так как для всех вариантов расчетные значения $M_{н.з.}$ и $M_{к.з.}$ не изменяются. Гидромеханизм с гидроцилиндром у которого диаметр больше 80 мм не удовлетворяют условию $\rho_{\min}=2d_0$. Различие полученных механизмов состоит в том, что при меньшем диаметре гидроцилиндра требуется больший ход поршня и большие координаты ρ и l , а для

гидроцилиндра с наибольшим диаметром значения S , ρ и l малы и механизм получается компактным.

Выводы. Разработанное манипуляторное оборудование на автомобильном шасси с рабочим органом в виде вилочного захвата позволяет выполнять разгрузку и монтаж БК без стропочных операций непосредственно из кузова автомобиля в проектное положение с минимумом затрат ручного труда. Полученные в результате расчета

варианты гидромеханизмов соответствуют ряду нормализованных диаметров поршня D и штока d , позволяют выполнить компоновку манипуляторного оборудования с унифицированными по диаметру поршня гидромеханизмами.

Определены минимально-допустимые хода поршня для каждого механизма и минимально-допустимые расчетные значения координат ρ и l крепления шарниров гидроцилиндра к базовому и ведомому звеньям.

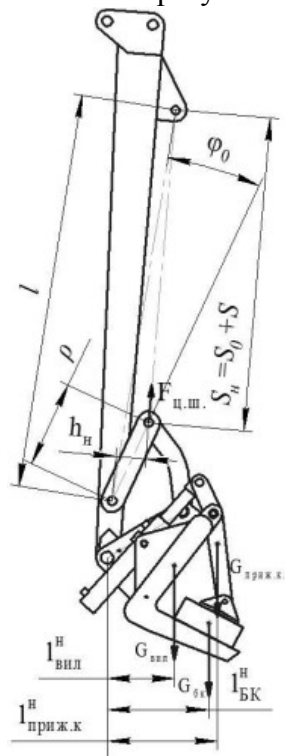


Рис. 10. Схема к расчету механизма поворота захвата (шток гидроцилиндра поворота захвата полностью втянут. Рабочая полость – штоковая).

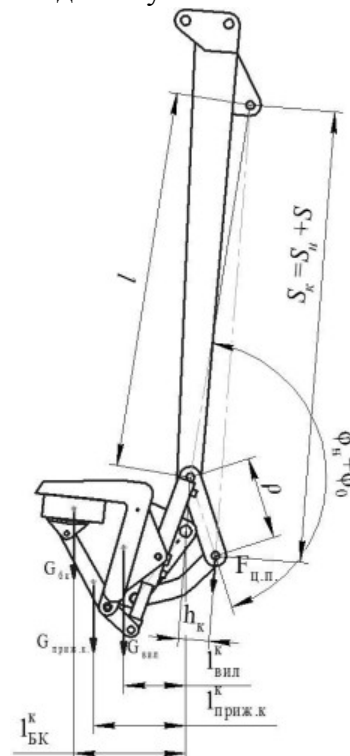


Рис. 11. Схема к расчету механизма поворота захвата (шток гидроцилиндра поворота захвата полностью выдвинут. Рабочая полость – поршневая).

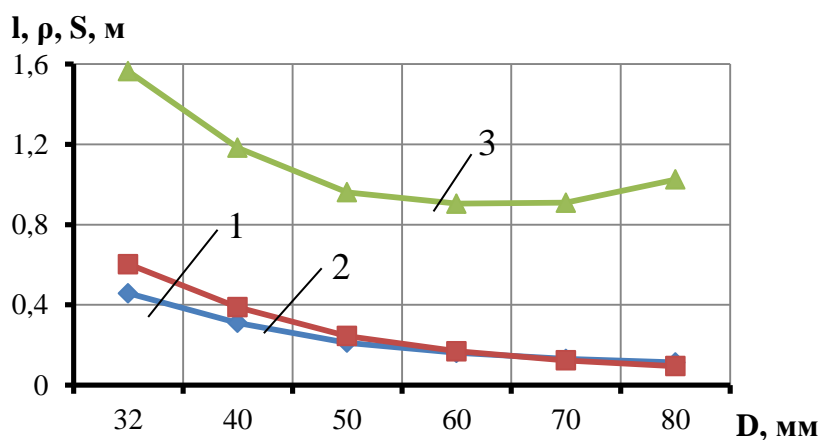


Рис. 12. Графики зависимостей координат крепления шарниров гидроцилиндра ρ , l и хода S от его диаметра D для механизма поворота захвата: 1 – зависимость $\rho = f(D)$; 2 – зависимость $S = f(D)$; 3 – зависимость $l = f(D)$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Машины для земляных работ / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке, Л. В. Назаров, М. П. Скоблюк, В. Г. Нікітін ; за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. – Рівне ; Дніпропетровськ ; Харків, 2010. – 557 с.
2. Строительные роботы и манипуляторы / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара, В. П. Станевский, П. И. Немировский. – Киев : Будивзельник, 1991. – 136 с.
3. Дослідження технології монтажу бордюрних каменів за допомогою маніпуляторного обладнання / Л. А. Хмара, І. А. Кулик, Ю. С. Пікуш, О. М. Боднар // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 57 : Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – С. 90-94.
4. Хмара Л. А. Исследование кинематических параметров привода и определение производительности манипуляторного оборудования для укладки бордюрных камней / Л. А. Хмара, И. А. Кулик, Ю. С. Пикуш // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 63 : Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. – С. 117-128. – (Серия : Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование).
5. Хмара Л. А. Оптимизация выбора гидроцилиндров и расчета параметров рычажного гидромеханизма / Л. А. Хмара, И. А. Кулик // Строительные и дорожные машины. – 1991. – № 6. – С. 19-21.
6. Хмара Л. А. Строительные манипуляторы и роботы / Л. А. Хмара. – Днепропетровск : ДИСИ, 1993. – 385 с.
7. Промышленные роботы. Конструирование, управление, эксплуатация / Костюк В. И., Гавриш А. П., Ямпольский Л. С., Карлов А. Г. – Киев : Вища шк., 1985. – 359 с.
8. Френкель Г. Ю. Роботизация процессов в строительстве / Г. Ю. Френкель. – Москва : Стройиздат, 1987. – 173 с. – (Курсом ускорения научно-технического прогресса).
9. Кириченко И. Г. Компьютерное и физическое моделирование строительных и дорожных машин / И. Г. Кириченко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета : сб. науч. тр. – Харьков, 2014. – Вып. 65-66. – С. 16-20.
10. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В. И. Баловнев. – Москва : Высш. шк., 1981. – 335 с.
11. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, Е. В. Одинцов, Н. Б. Пономарев, А. А. Собачкин, А. И. Харитонович. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
12. Кириченко И. Г. Особенности компьютерного моделирования операций функционально-технологического анализа / И. Г. Кириченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр./ Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 57 : Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. / отв.ред. Л. А. Хмара. – С. 19-21. – (Серия: Подъемно – транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование).

REFERENCES

1. Hmara L.A., Kravets S.V., Nichke V.V., Nazarov L.V., Skobliuk M.P. and Nikitin V.G. *Mashyny dlia zemlianykh robot* [Machines for land works]. Rivne; Dnipropetrovsk; Harkiv, 2010, 557 p. (in Russian).
2. Balovnev V.I., Hmara L.A., Stanevskij V.P. and Nemirovskij P.I. *Stroitel'nye roboty i manipulyatory* [Build works and manipulators]. Kiev: Budivjelnyk, 1991, 136 p. (in Russian).
3. Hmara L.A., Kulyk I.A., Pikush Yu.S., and Bodnar O.M. *Doslidzhennia tehnologii montazhu bordiurnykh kameniv za dopomogoiu manipulatornogo obladnannia* [Research of curbstones mounting technologies using manipulative equipment]. *Stroytel'stvo, materyalovedenie, mashynostroenie* [Construction, materials science, machine engineering]. *Pod'emno-transportnye, stroytel'nye i dorozhnye mashyny i oborudovanie* [Handling, building and road machines and equipment]. Prydnepr. gos. akad. str-va y arhyektury, Dnepropetrovsk, 2010, iss. 57, pp. 90-94. (in Ukrainian).
4. Hmara L.A., Kulik I.A. and Pikush Yu.S. *Issledovanie kinematicheskikh parametrov privoda i opredelenie proizvodite'nosti manipulatornogo oborudovaniya dlya ukladki bordyurnykh kamnej* [Researching of drive kinematic parameters and determination of manipulative equipment performance for laying curbstones]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, materials science, machine engineering]. *Intensifikatsiya rabochikh processov stroitel'nykh i dorozhnykh mashin* [The work processes intensification of building and road machines]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury, Dnepropetrovsk, 2011, iss. 63, pp. 117-128. (in Russian).
5. Hmara L.A. and Kulik I.A. *Optimizatsiya vybora gidrotsilindrov i rashcheta parametrov rychazhnogo gidromekhanizma* [Optimization of hydraulic cylinders selection and calculating the parameters of lever hydraulic mechanism]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashyny* [Building and road machines]. 1991, no. 6, pp. 19-21. (in Russian).
6. Hmara L.A. *Stroitel'nye manipulyatory i roboty* [Building manipulators and works]. Dnepropetrovsk: DISI, 1993, 385 p. (in Russian).

7. Kostyuk V.I., Gavrish A.P., Yampol'skij L. S. and Karlov A.G. *Promyshlennye roboty. Konstruirovaniye, upravleniye, ekspluatatsiya* [Industrial works. The construction, management, operation]. Kiev: Vishcha shk., 1985, 359 p. (in Russian).
8. Frenkel' G.Yu. *Robotizatsiya processov v stroitel'stve* [Robotisation of construction processes]. Moskva: Strojizdat, 1987, 173 p. (in Russian).
9. Kirichenko I.G. *Komp'yuternoe i fizicheskoe modelirovaniye stroitel'nykh i dorozhnykh mashin* [Computer and physical modelling of building and road machines]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University]. Khar'kov, 2014, iss. 65-66, pp. 16-20. (in Russian).
10. Balovnev V.I. *Modelirovaniye protsessov vzaimodejstviya so sredoj rabochikh organov dorozhno-stroitel'nykh mashin* [Processes modelling of an interaction with the working bodies environment of road-building machines]. Moskva, 1981, 335 p. (in Russian).
11. Alyamovskij A.A., Odintsov E.V., Ponomarev N.B., Sobachkin A.A. and Kharitonovich A.I. *SolidWorks. Komp'yuternoe modelirovaniye v inzhenernoj praktike* [SolidWorks. Computer modelling in the engineering practice]. Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg, 2005, 800 p.
12. Kirichenko I.G. *Osobennosti komp'yuternogo modelirovaniya operatsij funkcional'no-tehnologicheskogo analiza* [Computer modelling features of functional and technological analysis operations]. *Stroitel'stvo, materialovedeniye, mashinostroeniye* [Construction, Material Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2010, iss. 57, pp. 19-21. (in Russian).