

DOI: 10.15393/j2.art.2021.5943

УДК 630*378.33

Статья

Методика расчёта параметров гидроцилиндра телескопической стрелы манипулятора лесной отрасли

Васильев Владимир Викторович

*кандидат технических наук, Филиал АО «УК ЭФКО» в г. Алексеевке
(Российская Федерация), vasiliev.vladimir87@mail.ru*

Афоничев Дмитрий Николаевич

*доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I», г. Воронеж
(Российская Федерация), dmafonichev@yandex.ru*

Получена: 23 сентября 2021 / Принята: 7 декабря 2021 / Опубликовано: 13 декабря 2021

Аннотация: Эффективное выполнение работ на береговых складах и рейдах различного назначения, связанных с погрузкой и выгрузкой круглых лесоматериалов, зависит от правильного выбора манипуляторной установки. При осуществлении данного вида работ к манипуляторной установке предъявляются определённые требования, а именно: она должна быть мобильной, надёжной в работе и высокопроизводительной. Для обеспечения манипулятора указанными эксплуатационными качествами была разработана стрела гидроманипулятора, основной особенностью которой является уменьшенная длина в транспортном положении за счёт максимального втягивания выдвижной секции во внутреннюю полость опорной секции. Стрела состоит из опорной секции, на одном конце которой установлена проушина для крепления к опорно-поворотному устройству базовой машины, на нижней грани — проушина для крепления гидроцилиндра подъёма стрелы, выдвижной секции, на одном конце которой установлена проушина для крепления рукояти, на нижней грани — проушина для крепления гидроцилиндра привода рукояти, и гидроцилиндра привода выдвижной секции. Выдвижная секция концом, выполненным в виде отверстия, входит в отверстие опорной секции. Гидроцилиндр привода выдвижной секции установлен во внутренней полости опорной секции. Между контактирующими гранями опорной секции и выдвижной секции расположены направляющие скольжения. Приведена методика расчёта параметров гидроцилиндра, выполняющего функцию выдвижения выдвижной секции из свободной полости опорной секции

и втягивание выдвижной секции в свободную полость опорной секции, учитывающая все внешние и внутренние сопротивления, возникающие при работе стрелы гидроманипулятора в зависимости от её угла наклона при выполнении операций. В расчёте по обоснованию параметров гидроцилиндра особое внимание уделяется определению минимально допустимого внутреннего диаметра цилиндра и минимально допустимого диаметра штока, а также проверки их на соответствие предъявляемым требованиям. Проводимый выбор гидроцилиндра по представленной методике будет обеспечивать надёжное функционирование манипуляторной установки на базе усовершенствованной стрелы гидроманипулятора.

Ключевые слова: рейд; плоская сплочная единица; погрузочно-выгрузочные работы, стрела гидроманипулятора; секция; гидроцилиндр; диаметр

DOI: 10.15393/j2.art.2021.5943

Article

The method of calculating the hydraulic cylinder parameters of a telescopic boom manipulator for the forest industry use

Vladimir Vasiliev

*Ph. D. in engineering, Branch of JSC «UK EFKO» in Alekseevka (Russian Federation),
vasiliev.vladimir87@mail.ru*

Dmitry Afonichev

*D. Sc. in engineering, professor, Federal State Budget Education Institution of Higher Education
«Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great»,
Voronezh (Russian Federation), dmafonichev@yandex.ru*

Received: 23 September 2021 / Accepted: 7 December 2021 / Published: 13 December 2021

Abstract: The effective performance of work on shore warehouses and raids for round timber loading and unloading depends on the correct choice of a manipulator. For this type of operation the manipulator must be mobile, reliable in operation and highly-producing. To provide the manipulator with these operational qualities, a hydraulic manipulator boom was developed, the main feature of which is a reduced length in the transport position due to the maximum retraction of the retractable section into the inner cavity of the support section. The boom consists of a support section, a sliding section and a hydraulic cylinder of the drive of the retractable section. One end of the support section has an eye for mounting to the support and rotary device of the base machine, on the section lower face there is an eye for attaching the lifting hydraulic cylinder. The sliding section has an eye for fixing the handle on one end and on its lower face there is an eye for attaching the hydraulic cylinder of the handle drive. The sliding section enters the hole of the support section with the end made in the form of a hole. The hydraulic cylinder of the drive of the sliding section is installed in the inner cavity of the support section. Sliding guides are located between the contacting faces of the support section and the sliding section. The authors describe the method of calculating the parameters of a hydraulic cylinder that performs the function of extending the sliding section from the free cavity of the support section and retracting the sliding section into the free cavity of the support section. They take into account all external and internal resistances that arise during the operation of the hydraulic manipulator boom, depending on its angle of inclination during operations. To justify the parameters of the hydraulic cylinder special attention is paid to calculation of the minimum permissible internal diameter of the

cylinder and the minimum permissible diameter of the rod and to their compliance with the requirements. The selection of the hydraulic cylinder according to the presented method will ensure the reliable manipulator performance due to the improved boom design of the hydraulic manipulator.

Keywords: raid; flat unit; loading and unloading operations, hydraulic manipulator boom; section; hydraulic cylinder; diameter

1. Введение

В настоящее время манипуляторы широко используются в направлении альтернативной энергетики, робототехнике, автомобилестроении, авиакосмической технике, сельском хозяйстве, лесном комплексе [1—14]. В лесном комплексе манипуляторы хорошо зарекомендовали себя при реализации многих процессов [5—8], [13]. При транспортировке древесины водным транспортом манипуляторные установки применяются на береговых складах, переформировочных рейдах и рейдах приплава [8]. Необходимость использования манипуляторов возникает и при изготовлении плоских сплочных единиц [7], [13].

Процесс изготовления плоских сплочных единиц требует использования манипуляторов различной конструкции. Данные манипуляторы могут участвовать в изготовлении плоских сплочных единиц как самостоятельно [15], так и в паре со специализированной сплочной машиной [16]. Так как изготовление плоских сплочных единиц осуществляется на береговых складах [8], которые расположены на малых и средних реках, то возникает сложность доставки манипуляторов к месту изготовления сплочных единиц. При этом эксплуатация манипуляторов будет осуществляться в сложных условиях, с отсутствием полного комплекса технического обслуживания имеющегося оборудования.

При эксплуатации манипуляторов в сложных условиях на береговых складах, а также при применении манипуляторов на формировочных и переформировочных рейдах, на погрузочных рейдах и рейдах приплава к ним предъявляются определённые требования [17]. Манипуляторы должны быть мобильны, малогабаритны, высокопроизводительные и надёжные при своём функционировании. Приведённые требования к манипуляторам связаны со спецификой их эксплуатации на водном транспорте древесины, при этом выполнение данных требований является гарантией успешного проведения сплава древесины, особенно на реках с малыми глубинами.

Проведённый анализ существующих манипуляторных установок, которые используются или пригодны к использованию на водном транспорте древесины, показал, что они имеют большие габариты и высокую металлоёмкость, а значит, присутствуют низкая надёжность и избыточные энергозатраты при выполнении операций [7], [13]. Их практическое использование на сплаве древесины не будет обеспечивать высокую производительность при изготовлении плоских сплочных единиц, погрузке древесины в баржи и суда и при других видах работ с участием манипуляторных установок. Следовательно, есть необходимость модернизации известных манипуляторов. На основе сказанного определяется основная цель работы.

Цель работы — разработать стрелу гидроманипулятора и представить методику расчёта параметров гидроцилиндра для усовершенствованной стрелы гидроманипулятора с учётом всех внешних и внутренних сопротивлений, которые будут возникать при её работе.

2. Материалы и методы

Для устранения выявленных недостатков известных манипуляторных установок, взяв за прототип патент РФ № 2363148 [18], предлагается стрела гидроманипулятора, которая представлена на рисунке 1 [19]. В дальнейшем она будет являться объектом исследования.

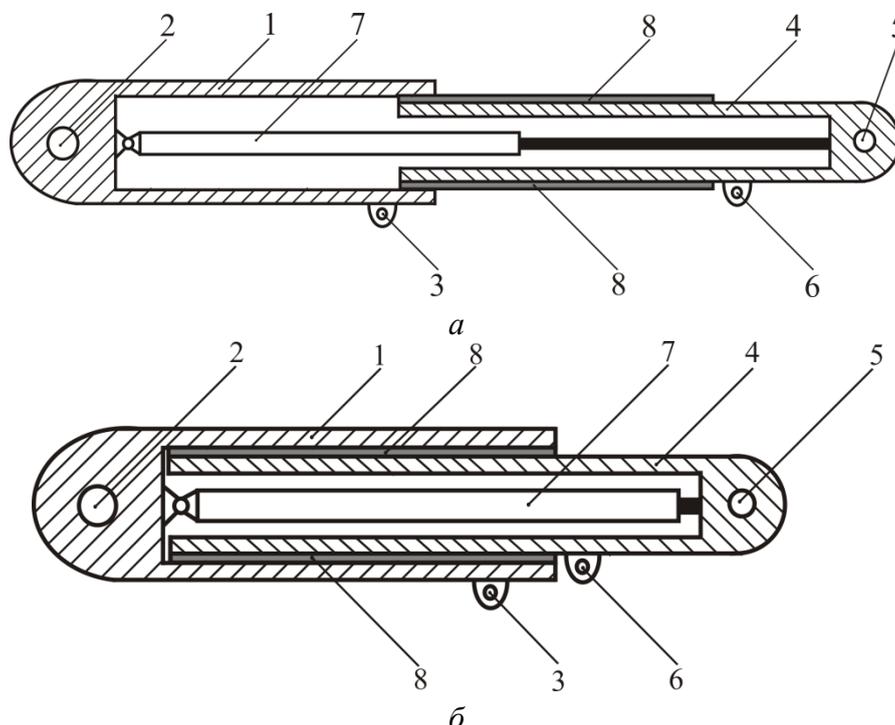


Рисунок 1. Стрела гидроманипулятора (разрез по продольной оси): *a* — выдвинутая на максимальную длину выдвижная секция; *б* — транспортное положение при втянутой выдвижной секции

Figure 1. Hydraulic manipulator boom (section along the longitudinal axis): *a* — the retractable section extended to the maximum length; *b* — the transport position with the retractable section retracted

Стрела гидроманипулятора [19] состоит из опорной секции 1, на одном конце которой установлена проушина 2 для крепления к опорно-поворотному устройству базовой машины, на нижней грани — проушина 3 для крепления гидроцилиндра подъёма стрелы, выдвижной секции 4, на одном конце которой установлена проушина 5 для крепления рукояти, на нижней грани — проушина 6 для крепления гидроцилиндра привода рукояти и гидроцилиндра 7 привода выдвижной секции 4. Выдвижная секция 4 концом, выполненным в виде отверстия, входит в отверстие опорной секции 1. Гидроцилиндр 7 привода выдвижной секции 4 установлен во внутренней полости опорной секции 1 и закреплён к задней стенке проушины 2, а его шток закреплён к задней стенке проушины 5.

Между контактирующими гранями опорной секции 1 и выдвижной секции 4 расположены направляющие скольжения 8.

Стрела гидроманипулятора работает следующим образом. Поворот стрелы вокруг вертикальной оси осуществляется в результате вращения опорно-поворотного устройства базовой машины, к которому она прикреплена посредством проушины 2. Подъём и опускание стрелы производятся гидроцилиндром подъёма стрелы, прикреплённым к проушине 3. Гидроцилиндр 7 осуществляет выдвижение выдвижной секции 4 из свободной полости опорной секции 1, создавая требуемую длину стрелы в рабочем положении, которая обеспечивает доступ технологического оборудования, установленного на рукояти, закреплённой на проушине 5 и управляемой гидроцилиндром, прикреплённым к проушине 6. Направляющие скольжения 8 обеспечивают плавное перемещение выдвижной секции 4 относительно опорной секции 1 с малым сопротивлением. При приведении стрелы в транспортное положение выдвижная секция 4 гидроцилиндром 7 втягивается во внутреннюю полость опорной секции 1, при этом гидроцилиндр 7 размещается во внутренней полости выдвижной секции 4.

При использовании рассматриваемой стрелы гидроманипулятора в проушину 5 крепится рукоять, оснащаемая рабочими устройствами (захватно-срезающее устройство, грейферный захват, ковш, клешневый захват, валочно-сучкорезно-раскряжёвочный модуль). Типовая манипуляторная установка представлена на рисунке 2 [17].

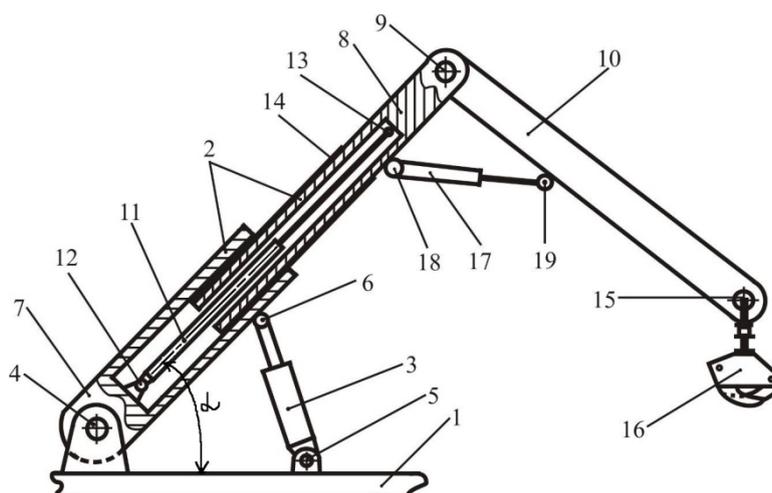


Рисунок 2. Манипуляторная установка [17]: 1 — опорно-поворотное устройство, 2 — стрела; 3 — привод (гидроцилиндр); 4, 5, 9, 15 — ось; 6, 12, 13, 18, 19 — шарнир; 7 — опорная секция; 8 — выдвижная секция; 10 — рукоять; 11, 17 — гидроцилиндр; 14 — направляющие скольжения; 16 — челюстной захват

Figure 2. Manipulator installation [17]: 1 — support-rotary device, 2 — boom; 3 — drive (hydraulic cylinder); 4, 5, 9, 15 — axis; 6, 12, 13, 18, 19 — hinge; 7 — support section; 8 — sliding section; 10 — handle; 11, 17 — hydraulic cylinder; 14 — sliding guides; 16 — jaw grip

Представленные дальнейшие работы по обоснованию методики расчёта параметров гидроцилиндра для усовершенствованной стрелы гидроманипулятора основывались на методе теоретического исследования. В результате этого были получены следующие результаты.

3. Результаты

Эффективное и безаварийное использование рассмотренной стрелы гидроманипулятора обуславливается, в первую очередь, правильным расчётом гидроцилиндра 7 (поршневого), который осуществляет выдвижение выдвижной секции 4 из свободной полости опорной секции 1. Основной расчёт сводится к определению внутреннего диаметра цилиндра $D_{ц}$, на основании которого будет устанавливаться диаметр поршня $D_{п}$ [20—23]. Внутренний диаметр цилиндра $D_{ц}$ зависит от возникающих внешних и внутренних усилий при выполнении операций.

Сумма всех внешних и внутренних сопротивлений R , которые будут возникать при работе стрелы гидроманипулятора, равна:

$$R = R_{CB} + R_{ДС}, \quad (1)$$

где R_{CB} — сопротивление от выдвижения и втягивания выдвижной секции, Н; $R_{ДС}$ — сопротивление, возникающее от внешних факторов, Н.

Формула расчёта сопротивления от выдвижения и втягивания выдвижной секции имеет вид:

$$R_{CB} = k_{CD} k_{НРС} g m_{\Sigma} (\mu_{ТС} \cos \alpha \pm \sin \alpha) + 2\mu_{ТС} F_{ВН} + 2\mu_{ТС} F_{ЛП}, \quad (2)$$

где k_{CD} — коэффициент увеличения силы, требуемой при выводе из состояния покоя выдвижной секции; $k_{НРС}$ — коэффициент учёта неравномерного распределения сил, действующих на выдвижную секцию; g — ускорение свободного падения, м/с²; m_{Σ} — суммарная масса всех элементов, которыми осуществляется управление гидроцилиндром, кг; α — угол наклона стрелы гидроманипулятора, град.; $\mu_{ТС}$ — коэффициент трения скольжения между направляющими скольжения и внутренней поверхностью опорной секции; $F_{ВН}$ — сила, приложенная на поверхность направляющих скольжения с верхней и нижней сторон, Н; $F_{ЛП}$ — сила, приложенная на поверхность направляющих скольжения с левой и правой сторон, Н.

Угол наклона стелы гидроманипулятора α — это угол между опорно-поворотным устройством и осью гидроцилиндра (см. рисунок 2).

Равенство (2) справедливо при условии, что сечения опорной и выдвижной секций имеют прямоугольную форму. Коэффициенты k_{CD} и $k_{НРС}$ устанавливаются экспериментальным путём, а суммарная масса всех элементов, которыми осуществляется управление гидроцилиндром, будет рассчитываться по формуле

$$m_{\Sigma} = m_{BC} + m_{PK} + m_{ГЦ} + m_{PY} + m_{ДТЭ} + m_{ПО}, \quad (3)$$

где m_{BC} — масса выдвигной секции, кг; m_{PK} — масса рукоятки, кг; $m_{ГЦ}$ — масса гидроцилиндра, соединяющего стрелу гидроманипулятора с рукоятью, кг; m_{PY} — масса рабочих устройств, кг; $m_{ДТЭ}$ — масса дополнительных технических элементов, кг; $m_{ПО}$ — масса перемещаемых объектов, кг.

Дополнительное сопротивление, возникающее от внешних факторов $R_{ДС}$, учитывает все внешние силы, которые не принимаются во внимание при расчёте сопротивления от выдвигания и втягивания выдвигной секции, и для каждого конкретного условия технологического процесса устанавливается индивидуально. Например, $R_{ДС}$ будет включать сопротивление, возникающее при подтягивании срезанного дерева, когда подтягивание выполняется с помощью гидроцилиндра 7, который втягивает секцию 4 с рукоятью, валочно-сучкорезно-раскряжёвочным модулем и деревом во внутреннюю полость опорной секции 1. Тогда дополнительное сопротивление $R_{ДС}$ необходимо определить следующим образом:

$$R_{ДС} = \mu_{ТС} F_{СТ}, \quad (4)$$

где $F_{СТ}$ — дополнительная сила трения, Н.

При последующем расчёте диаметра цилиндра $D_{Ц}$, необходимо определить максимальную сумму всех внешних и внутренних сопротивлений R_{max} , которые будут возникать при выдвигании выдвигной секции 4 из опорной секции 1 и при втягивании выдвигной секции 4 во внутреннюю полость опорной секции 1. Тогда, используя выражения (1), (2), с учётом зависимости (4), запишем конечные формулы расчёта $R_{maxВД}$, возникающего при выдвигании выдвигной секции 4 из опорной секции 1, при углах наклона опорной секции равном 0, 45, 90 град.:

$$R_{maxВД} = k_{CD} k_{HPC} g m_{\Sigma} \mu_{ТС} + 2 \mu_{ТС} F_{ВН} + 2 \mu_{ТС} F_{ЛП} + R_{ДС}; \quad (5)$$

$$R_{maxВД} = 0,7071 k_{CD} k_{HPC} g m_{\Sigma} (\mu_{ТС} + 1) + 2 \mu_{ТС} F_{ВН} + 2 \mu_{ТС} F_{ЛП} + R_{ДС}; \quad (6)$$

$$R_{maxВД} = k_{CD} k_{HPC} g m_{\Sigma} + 2 \mu_{ТС} F_{ВН} + 2 \mu_{ТС} F_{ЛП} + R_{ДС}. \quad (7)$$

Учитывая выражения (1), (2) и (4), сумма всех внешних и внутренних сопротивлений, которые будут возникать при втягивании выдвигной секции 4 во внутреннюю полость опорной секции 1 R_{maxBT} , при углах наклона опорной секции 0, 45, 90 град., рассчитываются соответственно по формулам:

$$R_{maxBT} = k_{CD} k_{HPC} g m_{\Sigma} \mu_{ТС} + 2 \mu_{ТС} F_{ВН} + 2 \mu_{ТС} F_{ЛП} + R_{ДС}; \quad (8)$$

$$R_{maxBT} = 0,7071 \left(k_{CD} k_{HPC} g m_{\Sigma} \mu_{ТС} - \frac{1}{k_{CD} + k_{HPC}} g m_{\Sigma} \right) + 2 \mu_{ТС} F_{ВН} + 2 \mu_{ТС} F_{ЛП} + R_{ДС}; \quad (9)$$

$$R_{\max BT} = -\frac{1}{k_{CD} + k_{HPC}} gm_{\Sigma} + 2\mu_{TC} F_{BH} + 2\mu_{TC} F_{ЛП} + R_{ДС}. \quad (10)$$

Определив показатели $R_{\max ВД}$ при углах наклона опорной секции 0, 45, 90 град. соответственно по формулам (5), (6) и (7), принимают наибольшее значение, на основе которого рассчитывается минимально допустимый внутренний диаметра цилиндра $D_{\min ГЦВД}$ при выдвигении выдвигной секции 4 из опорной секции 1, следующим образом:

$$D_{\min ГЦВД} = k_{ЗГЦ} \sqrt{\frac{4R_{\max ВД}}{\pi p_{РДЖ}}}, \quad (11)$$

где $k_{ЗГЦ}$ — коэффициент запаса; π — число пи, равное 3,1416; $p_{РДЖ}$ — рабочее давление жидкости, Н/м².

Выражение (11) справедливо для гидроцилиндра двухстороннего силового действия при подаче жидкости в полость, противоположную штоку.

Расчёт минимально допустимого внутреннего диаметра цилиндра $D_{\min ГЦВТ}$, когда выполняется втягивание выдвигной секции 4 во внутреннюю полость опорной секции 1, при условии что подача жидкости происходит в полость со стороны штока, необходимо осуществлять по формуле

$$D_{\min ГЦВТ} = k_{ЗГЦ} \sqrt{\frac{4R_{\max ВТ}}{\pi p_{РДЖ}} + d_{\min ШТ}^2}, \quad (12)$$

где $d_{\min ШТ}$ — минимально допустимый диаметр штока, м.

В зависимости (12) $R_{\max ВТ}$ принимается равным наибольшему значению, которое получится при выполнении расчётов по формулам (8), (9) и (10), а минимально допустимый диаметр штока, работающего на растяжение и сжатие, определяется с учётом рекомендаций работы [23]:

$$d_{\min ШТР} = k_{ЗШТ} \sqrt{\frac{4R_{\max ВТ}}{\pi [\sigma_P]}}; \quad (13)$$

$$d_{\min ШТС} = k_{ЗШТ} D_{\min ГЦВД} \sqrt{\frac{R_{\max ВД}}{[\sigma_C]}}; \quad (14)$$

где $k_{ЗШТ}$ — коэффициент запаса [1,1...1,2]; $[\sigma_P]$ — допустимое напряжение при растяжении, Н/м²; $[\sigma_C]$ — допустимое напряжение при сжатии, Н/м².

Показатели $[\sigma_P]$ и $[\sigma_C]$ принимаются в зависимости от вида используемого материала [24—30], а правильный выбор будет обеспечивать прочность конструкции.

Минимально допустимые диаметры штока, рассчитываемые по формулам (13) и (14), сравниваются между собой, и принимается при расчёте $D_{\min ГЦВТ}$ тот, который имеет наибольшее значение.

Необходимо отметить, что штоки, длина которых больше 10 диаметров, дополнительно рассчитываются на продольный изгиб по формуле Эйлера. Данная методика расчёта представлена в работе [23].

Определив $D_{\min ГЦВД}$ и $D_{\min ГЦВТ}$, устанавливают требуемый внутренний диаметр цилиндра $D_{ВДЦ}$ путём сравнения $D_{\min ГЦВД}$ и $D_{\min ГЦВТ}$ между собой. Если $D_{\min ГЦВД} \leq D_{\min ГЦВТ}$, то $D_{ВДЦ} = D_{\min ГЦВТ}$, когда $D_{\min ГЦВД} > D_{\min ГЦВТ}$, то $D_{ВДЦ} = D_{\min ГЦВД}$.

На основе полученных значений $D_{ВДЦ}$ и $d_{\min ШТ}$ подбирается необходимый гидроцилиндр с заданным внутренним диаметром цилиндра $D_{Ц}$ и диаметром штока $d_{ШТ}$, по условию $D_{Ц} > D_{ВДЦ}$ и $d_{ШТ} > d_{\min ШТ}$.

Так как при работе гидроцилиндра в нём будут возникать внутренние рабочие сопротивления, то при известных значениях $D_{Ц}$ и $d_{ШТ}$ должны выполняться следующие условия:

$$D_{Ц} \geq k_{згц} \sqrt{\frac{4(R_{\max ВД} + R_{УШ} + R_{УП} + R_{ВМ})}{\pi p_{РДЖ}}}; \quad (15)$$

$$D_{Ц} \geq k_{згц} \sqrt{\frac{4(R_{\max ВТ} + R_{УШ} + R_{УП} + R_{ВМ})}{\pi p_{РДЖ}} + d_{ШТ}^2}, \quad (16)$$

где $R_{УШ}$ — сопротивление уплотнителя штока, Н; $R_{УП}$ — сопротивление уплотнителя поршня, Н; $R_{ВМ}$ — сопротивление от вытекания жидкости из противоположной полости гидроцилиндра, Н.

Сопротивление уплотнителя штока следует рассчитывать по формуле [20]:

$$R_{УШ} = g \pi \mu_{МШ} d_{уд} l_{ДУ} p_{РДЖ}, \quad (17)$$

где $\mu_{МШ}$ — коэффициент трения манжет о рабочую поверхность штока; $d_{уд}$ — уплотняемый диаметр, м.; $l_{ДУ}$ — длина уплотнения, м.

Сопротивление уплотнителя поршня определяется из выражения [20]:

$$R_{УП} = g \pi \mu_{чс} D_{Ц} b_{ПК} (z_{ПК} k_{уд} + p_{РДЖ}), \quad (18)$$

где $\mu_{чс}$ — коэффициент трения для чугунных поршневых колец по стальной втулке; $b_{ПК}$ — ширина поршневого кольца, см.; $z_{ПК}$ — количество поршневых колец; $k_{уд}$ — удельное давление кольца на стенки цилиндра.

Сопротивление от вытекания жидкости из противоположной полости гидроцилиндра рекомендуется [20] рассчитывать следующим образом:

$$R_{yш} = g p_{II} \left(\frac{\pi D_{II}^2}{4} - \frac{\pi d_{шт}^2}{4} \right), \quad (19)$$

где p_{II} — давление подпора [20], которое в случае непосредственного слива через золотник в бак равно гидравлическому сопротивлению магистрали слива, Н/м².

Выполнение условий (15) и (16) будет указывать на то, что подбор гидроцилиндра был выполнен правильно, а его параметры обеспечат надёжную работу стрелы гидроманипулятора. В случае не выполнения одного из условий необходимо принять D_{II} и $d_{шт}$ на порядок выше и произвести повторную проверку неравенств (15) и (16). Проверка осуществляется до момента выполнения заданных условий в неравенствах (15), (16).

4. Обсуждение и заключение

Разработанная конструкция стрелы гидроманипулятора имеет определённые преимущества над существующими манипуляторными установками. Данная конструкция отличается малыми габаритными размерами, низкой металлоёмкостью, высокой мобильностью и максимальной производительностью. Промышленное внедрение рассмотренной стрелы гидроманипулятора даст возможность расширить её область использования в различных отраслях экономики, в т. ч. и в лесной отрасли при изготовлении плоских сплочных единиц. Например, усовершенствованная стрела гидроманипулятора может быть использована в конструкции манипуляторных установок для укладки круглых лесоматериалов в сплочные машины или баржи, а также в конструкциях машин и механизмов, участвующих не только в изготовлении плоских сплочных единиц, но и в целом по обеспечению результативной транспортировки древесины по водным объектам.

Предложенная методика подбора гидроцилиндра учитывает все внешние и внутренние сопротивления, возникающие при работе манипуляторной установки на базе усовершенствованной стрелы гидроманипулятора. Каждое установленное сопротивление, возникающее при выходе выдвижной секции из свободной полости опорной секции, имеет определённое влияние на параметры гидроцилиндра. Использование данной методики расчёта гидроцилиндра позволит обеспечить надёжную и эффективную работу гидроманипулятора.

Список литературы

1. Справочник по промышленной робототехнике: В 2 кн.: Пер. с англ. / Под ред. Ш. Нофа. М.: Машиностроение, 1990. Кн. 2. 480 с.
2. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / С. Ф. Бурдаков [и др.]. М.: Высш. шк., 1986. 264 с.

3. *Rukomojnikov K., Vedernikov S., Gabdrahmanov M.* A Method for Delimiting Tree-Trunks and a Device for Applying the Method // *Journal of Applied Engineering Science*. 2018. Vol. 16, no 2. P. 263—266. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes16-16442>.
4. *Афоничев Д. Н., Гребнев В. П., Поливаев О. И.* Манипулятор для сельскохозяйственных тракторов // *Наука вчера, сегодня, завтра: Материалы научно-практич. конф.* Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. С. 76—80.
5. *Khitrov E. G., Andronov A. V.* Bearing Floatation of Forest Machines (Theoretical Calculation) // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. Vol. 695, art. 012020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/695/1/012020>.
6. *Полетайкин В. Ф., Колесников П. Г.* Комбинированные манипуляторы лесосечных и лесотранспортных машин. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2014. 167 с.
7. *Васильев В. В., Афоничев Д. А.* Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов: [монография]. Saarbrucken (Германия): Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 с.
8. *Васильев В. В.* Обоснование параметров транспортно-технологической схемы поставки древесины в плоских сплотовых единицах по принципу плот (линейка) — плот // *Resources and Technology*. 2021. Т. 18, № 2. С. 48—78. URL: <https://rt.petsru.ru/journal/article.php?id=5603>. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5603.
9. *Lingling F., Zhixin M.* Modeling and Analysis of Doubly Fed Induction Generator Wind Energy Systems. Elsevier, 2015. 145 p.
10. *Ke Ma.* Power Electronics for the Next Generation Wind Turbine System. Springer, 2015. 198 p.
11. *Wenjuan Du, Haifend Wang, Siqi Bu.* Small-Signal Stability Analysis of Power Systems Integrated with Variable Speed Wind Generators. Springer, 2018. 362 p.
12. *Wei Tong.* Wind Power Generation and Wind Turbine Desing. Boston: WIT PRESS, 2010. 769 p.
13. *Васильев В. В., Аксенов И. И.* Анализ конструкций перспективных плоских сплотовых единиц // *Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции — новые технологии и техника нового поколения для АПК: Сб. науч. докл. XX междунар. научно-практич. конф., г. Тамбов, 26—27 сентября 2019 г.* Тамбов: Изд-во «Студия печати Галины Золотовой», 2019. С. 188—191.
14. *Porfiriev B. N., Roginko S. A.* Energy on Renewable Sources: Prospects for the World and for Russia // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2016. Vol. 86, iss. 6. P. 433—440.
15. *Митрофанов А. А.* Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 492 с.
16. Пат. 199681 Российская Федерация, МПК В65G 69/00, 57/18. Сплотовая машина / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, Е. В. Позняков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (RU). № 2020119839; заявл. 08.06.2020; опубл. 14.09.2020. Бюл. № 26. 5 с.
17. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Усовершенствованный манипулятор для работы в паре со сплотовой машиной // *Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: Материалы междунар. научно-практич. конф.; Россия, Воронеж, 25 февраля 2021 г.:* В 2 ч. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. Ч. I. С. 125—129.
18. Пат. 2363148 Российская Федерация, МПК А01G 23/00, В25J 5/00. Манипулятор / И. Н. Багаутдинов, Я. И. Шестаков, А. Ф. Галиахмедов, Т. М. Егошина; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего

профессионального образования «Марийский государственный технический университет» (RU). № 2008102687/12; заявл. 23.01.2008; опубл. 10.08.2009. Бюл. № 22. 6 с.

19. Пат. 117345 Российская Федерация, МПК В25J 5/00. Стрела гидроманипулятора / Д. Н. Афоничев, В. В. Васильев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежская государственная лесотехническая академия» (RU). № 2012100688/02; заявл. 11.01.2012; опубл. 27.06.2012. Бюл. № 18. 5 с.
20. Марутов В. А. Гидроцилиндры / В. А. Марутов, С. А. Павлоский. М.: Машиностроение, 1966. 171 с.
21. Ахметов К. М. Гидроцилиндры, коммуникации и уплотнения гидросистем. М.: Машиностроение, 1972. 30 с.
22. Гидроцилиндры / Д. Ю. Воронов [и др.]. Тольятти: ТГУ, 2011. 72 с.
23. Классификация, устройство и расчёт гидроцилиндров / сост. К. Г. Пугин, Е. М. Генсон. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. 26 с.
24. Vitor Dias da Silva. Mechanics and Strength of Materials. Springer, 2006. 531 p.
25. Paul S. Steif Mechanics of Materials. Pearson Higher Education, Inc., Upper Saddle River. New York, 2012. 592 p.
26. Subramanian R. Strength of materials. Oxford: Oxford University Press, 2010. 1041 p.
27. Surya Patnaik. Dale Hopkins Strength of Materials: A New Unified Theory. Butterworth-Heinemann. Elsevier, 2004. 771 p.
28. Broutman L. Measurement of the Fiber-Polymer Matrix Interfacial Strength. ASTM, 1968. 198 p.
29. Den Hartog J. P. Strength of Materials. Dover Publications, 1961. 346 p.
30. Skalmierski B. Mechanics and Strength of Materials. Academic Press. Elsevier, 1979. 435 p.

References

1. *Handbook of Industrial Robotics. In 2 books. Translation from English. Edited by Sh. Nof.* Moscow, Mashinostroenie, 1990. Book 2. 480 p. (In Russ.)
2. Burdakov S. F. [et al.]. *Design of manipulators of industrial robots and robotic complexes.* Moscow, Higher School, 1986. 264 p. (In Russ.)
3. Rukomojnikov K., Vedernikov S., Gabdrahmanov M. A Method for Delimiting Tree-Trunks and a Device for Applying the Method. *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 16, no 2, pp. 263—266. doi: <https://doi.org/10.5937/jaes16-16442>.
4. Aфоничев Д. Н., Гребнев В. П., Поливаев О. И. Manipulator for agricultural tractors. *Science yesterday, today, tomorrow: mater. scientific and practical conf.* Voronezh, FGBOU VO Voronezh State University, 2016, pp. 76—80. (In Russ.)
5. Khitrov E. G., Andronov A. V. Bearing Flootation of Forest Machines (Theoretical Calculation). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 695, art. 012020. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/695/1/012020>.
6. Poletaykin V. F. *Combined manipulators of logging and forest transport machines.* Krasnoyarsk, SibSTU Publishing House, 2014. 167 p. (In Russ.)
7. Vasiliev V. V., Aфоничев Д. А. *Improved systems of raft timber alloy: Monograph.* Saarbrucken (Germany): Publishing house of LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 p. (In Russ.)
8. Vasiliev V. V. Justification of the parameters of the transport and technological scheme for the supply of wood in flat raft units according to the raft (ruler) — raft principle.

- Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no 2, pp. 48—78. Available at: <https://rt.petsru.ru/journal/article.php?id=5603>. doi: 10.15393/j2. art. 2021.5603. (In Russ.)
9. Lingling Fan, Zhixin Miao. *Modeling and Analysis of Doubly Fed Induction Generator Wind Energy Systems*. Elsevier, 2015. 145 p.
 10. Ke Ma. *Power Electronics for the Next Generation Wind Turbine System*. Springer, 2015. 198 p.
 11. Wenjuan Du, Haifend Wang, Siqi Bu. *Small-Signal Stability Analysis of Power Systems Integrated with Variable Speed Wind Generators*. Springer, 2018. 362 p.
 12. Wei Tong. *Wind Power Generation and Wind Turbine Desing*. Boston, WIT PRESS, 2010. 769 p.
 13. Vasiliev V. V., Aksenov I. I. Analysis of the structures of promising flat splice units. *Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products-new technologies and equipment of a new generation for the agro-industrial complex: collection of scientific reports of the XX international scientific and practical conference; Tambov, September 26—27, 2019*. Tambov, Publishing house «Printing Studio of Galina Zolotova», 2019, pp. 188—191. (In Russ.)
 14. Porfiriev B. N., Roginko S. A. Energy on Renewable Sources: Prospects for the World and for Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2016, vol. 86, iss. 6, pp. 433—440.
 15. Mitrofanov A. A. *Lesosplav. New technologies, scientific and technical support*. Arkhangelsk, Publishing house of AGTU, 2007. 492 p. (In Russ.)
 16. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Poznyakov E. V. *Splotochnaya mashina*. Pat. 199681 Russian Federation, IPC B65G 69/00, 57/18. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov» (RU). No 2020119839; application 08.06.2020; publ. 14.09.2020. Bul. No 26. 5 p. (In Russ.)
 17. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Advanced manipulator for work paired with splotches machine. *Trends in the development of technical means and technologies in agriculture: proceedings of the international scientific-practical conference in 2 h; Russia, Voronezh, 25 Feb 2021*. Voronezh, Voronezh FGBOU VO HAU, 2021. Part I, pp. 125—129. (In Russ.)
 18. Bagautdinov I. N., Shestakov Ya. I., Galiakhmedov A. F., Egoshina T. M. *Manipulator*. Pat. 2363148 Russian Federation, IPC A01G 23/00, B25J 5/00. Applicant and patent holder State Educational Institution of Higher Professional Education «Mari State Technical University» (RU). No 2008102687/12; application 23.01.2008; publ. 10.08.2009. Byul. No 22. 6 p. (In Russ.)
 19. Afonichev D. N., Vasiliev V. V. *Arrow of the hydraulic manipulator*. Pat. 117345 Russian Federation, IPC B25J 5/00. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Voronezh State Forestry Academy» (RU). No 2012100688/02; application 11.01.2012; publ. 27.06.2012. Byul. No 18. 5 p. (In Russ.)
 20. Marutov V. A., Pavlosky S. A. *Hydraulic cylinders*. Moscow, Mechanical Engineering, 1966. 171 p. (In Russ.)
 21. Akhmetov K. M. *Hydraulic cylinders, communications and seals of hydraulic systems*. Moscow, Mechanical Engineering, 1972. 30 p. (In Russ.)
 22. Voronov D. Y. [et al.]. *Hydraulic cylinders*. Tolyatti, TSU, 2011. 72 p. (In Russ.)
 23. *Classification, design and calculation of hydraulic cylinders*. The compiler K. G. Pugin, E. M. Genson. Perm, Publishing house of Perm. nats. research. polytechnic University. un-ta, 2015. 26 p. (In Russ.)
 24. Vitor Dias da Silva. *Mechanics and Strength of Materials*. Springer, 2006. 531 p.
 25. Paul S. *Steif Mechanics of Materials*. Pearson Higher Education, Inc., Upper Saddle River, New York, 2012. 592 p.

26. Subramanian R. *Strength of materials*. Oxford, Oxford University Press, 2010. 1041 p.
27. Surya Patnaik. Dale Hopkins *Strength of Materials: A New Unified Theory*. Butterworth-Heinemann. Elsevier, 2004. 771 p.
28. Broutman L. *Measurement of the Fiber-Polymer Matrix Interfacial Strength*. ASTM, 1968. 198 p.
29. Den Hartog J. P. *Strength of Materials*. Dover Publications, 1961. 346 p.
30. Bogdan Skalmierski. *Mechanics and Strength of Materials*. Academic Press. Elsevier, 1979. 435 p.

© Васильев В. В., Афоничев Д. Н., 2021