

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-94-101

**Шубин А.А., Смоловик А.Е., \*Васильев В.А.***Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана**\*E-mail: Vitaliy27.0@yandex.ru*

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАКЛОННО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

**Аннотация.** В статье предложена концепция использования машины с комбинированным ходом на базе колесного экскаватора, оснащенного наклонно-поворотным устройством, для ремонта и текущего содержания железнодорожных путей. Текущее содержание пути включает систематический надзор за состоянием сооружений пути и путевых устройств и содержание их в состоянии, гарантирующее безопасное движение поездов. Обоснована целесообразность применения машин на комбинированном ходу и использования наклонно-поворотных устройств для различных видов работ, таких как выправка и рихтовка пути, смена шпал, планировка балластной призмы, очистка железнодорожных путей от снега и многое другое. Разработана перспективная отечественная конструкция наклонно-поворотного устройства с внедрением в конструкцию поворотного гидроцилиндра. Построена 3D модель разработанного наклонно-поворотного устройства при помощи САД системы КОМПАС-3D. Представлен алгоритм и обобщенная методика расчета поворотного гидроцилиндра, по результатам расчетов получены зависимости значения среднего диаметра резьбы от осевой силы и значения угла подъема винтовой линии резьбы от шага резьбы и числа заходов, позволяющие выбрать наилучшие параметры резьбы.

**Ключевые слова:** текущее содержание и ремонт железнодорожных путей, наклонно-поворотное устройство, милротатор, поворотный гидроцилиндр, методика расчета.

**Введение.** Эффективная транспортная система является основной экономического развития любой страны. В России одним из основных видов транспорта является железнодорожный транспорт. Отличительная черта железных дорог – возможность массовых перевозок пассажиров и грузов на большие расстояния. По данным Росстата за 2021 [1] на железнодорожные перевозки приходится 46 % всего грузооборота государства. Основные преимущества данного вида перевозок: быстрота, дешевизна, регулярность и безопасность. Это возможно благодаря работе различных служб, которые занимаются текущим содержанием и ремонтом железнодорожных путей.

По мере эксплуатации на верхнее строение железнодорожного пути оказываются различные воздействия, выраженные статическими и динамическими нагрузками от подвижного состава, а также прямым влиянием окружающей среды: подмывание земляного полотна и зарастание густой растительностью, засорение балластной призмы мусором и сыпучими материалами и т.д. В зимнее время в результате перепадов температур и замерзания воды нарушаются рельсовые зазоры, образуются пучины, происходит отклонение железнодорожного пути в плане и профиле от проектного положения. Все эти факторы снижают устойчивость земляного полотна, что приводит к деформациям верхнего строения пути и нарушению безопасности движения поездов.

Для содержания железнодорожной инфраструктуры в исправном техническом состоянии производится большой комплекс работ, таких как выправка и рихтовка пути, смена шпал, планировка балластной призмы и многое другое [2]. Небольшие объемы работ выполняются силами бригады монтеров пути с использованием путевого ручного и механизированного инструмента (шуруповерты, костылезабивщики, шпалоподбойки и т.д.), для которого разрабатываются различные варианты модернизации [3] с целью повышения производительности и удобства эксплуатации. При выполнении больших объемов работ используются самые разнообразные специализированные и высокопроизводительные машины, такие как: ВПРС-02 и -03, Duomatic 09-32 CSM, СЗП-600 и многие другие. Помимо этого, всегда идет работа по разработке новых высокопроизводительных комплексов [4]. Все эти машины имеют узконаправленную сферу применения и при всех своих достоинствах, таких как высокая производительность и автоматизация работы, имеют ряд серьезных недостатков: большая первоначальная стоимость, повышенная трудоемкость обслуживания и содержания парка техники. Также стоит отметить, что применение специализированных машин нецелесообразно при локальных ремонтных работах, а применение ручного труда сильно снижает производительность.

Для локальных работ по текущему содержанию верхнего строения пути целесообразно использовать универсальные и высококомбинированные машины, способные выполнять большой спектр работ. При этом время на выполнение этих работ должно сводиться к минимуму, чтобы сократить продолжительность «окон» в графике движения поездов. Для выполнения локальных ремонтов компанией Geismar был разработан комплекс, состоящий из нескольких самоходных машин, предназначенных для замены шпал и уплотнения балластной призмы [5-7]. В России на данный момент не существует машины, которая бы смогла в полной мере занять данную нишу. Поэтому предлагается конструкция машины с комбинированным ходом на базе серийного экскаватора на колесном ходу ТВЭКС ЕК 14-90 [8]. Такая машина будет способна передвигаться как по дорогам общего пользования, так и по железнодорожным путям.

Основным достоинством данной машины является ее многофункциональность и высокая мобильность. Это преимущество обеспечивается конструктивной особенностью, позволяющей за несколько минут перевести машину с колесного хода на железнодорожный и наоборот, а в случае необходимости съехать с железнодорожного пути на ближайшем переезде, что в значительной мере может сократить время технологического окна.

Модульный подход к использованию сменного оборудования позволяет выполнять различные виды работ с рельсошпальной решеткой и балластной призмой, снегоочистительные работы и так далее. В зависимости от поставленной задачи на транспортную площадку машины укладывается специализированное сменное оборудование, позволяющее производить различные виды работ.

Важными показателями при использовании сменного оборудования являются время, затраченное на снятие и установку навесного оборудования, а также точность позиционирования рабочего органа, при выполнении работ. Для этого на рукоять экскаватора устанавливается наклонно-поворотное устройство (НПУ), которое является переходным звеном между экскаватором и непосредственно самим сменным рабочим органом. За рубежом данное устройство более известно, как тилтротатор.

**Материалы и методы.** В ходе исследования были рассмотрены отечественные и зарубежные модели НПУ, а также проанализированы и выявлены характерные для всех рассмотренных моделей недостатки. Была предложена альтернативная конструкция НПУ со встроенным поворотным гидроцилиндром (гидроцилиндр двойного

действия с двумя встроенными передачами винт-гайка). Представлен алгоритм расчета поворотного гидроцилиндра и получены основные зависимости, позволяющие подобрать наилучшие параметры передачи. Основными нормативно-правовыми документами, использованными для определения параметров резьбы передачи винт-гайка являются ГОСТ24737-81 и ГОСТ 24739-81.

**Основная часть.** НПУ представляет собой комбинацию ротатора и гидропривода, которая позволяет поворачивать ковш или другое навесное оборудование, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, что позволяет существенно повысить производительность, за счет более точного позиционирования рабочего органа без перемещения самого экскаватора.

Сфера применения НПУ практически безгранична и ограничивается только номенклатурой навесного оборудования. С его помощью можно проводить работы в ограниченном пространстве, поворачивать исполнительный орган под разными углами без перемещения самой машины. Кроме того, НПУ можно устанавливать и на другие виды техники.

Фирмой Engcon [9] была разработана конструкция НПУ, представленная на рисунке 1. За вращение в горизонтальной плоскости отвечает так называемый ротатор, который представляет собой червячную передачу (1). Вращение в вертикальной плоскости осуществляется благодаря системе из двух гидроцилиндров (2). НПУ оснащено гидравлическим быстросъемным механизмом (3), предназначенным для закрепления исполнительного органа.



Рис. 1. НПУ фирмы Engcon [9]:  
1 – червячная передача; 2 – система гидроцилиндров;  
3 – быстросъемный механизм

Данный вид компоновки является классическим и самым распространённым, его используют различные производители по всему миру,

такие как: Steelwrist (Швеция). ИНТЕХРОС (Россия), JK Technology (Южная Корея) и многие другие [10-12].

Однако у данной конструкции НПУ имеются следующие важные недостатки:

1) Во время работы высока вероятность повреждения поверхности штока гидроцилиндра как от абразивного износа, вызванного попаданием и оседанием мелких частиц грунта на гладкую поверхность штока, так и механическим повреждением в результате внешнего воздействия (падение камня, случайное прикосновение к твердому предмету и т.д.). Все это приводит к потере номинального усилия гидроцилиндра из-за местных потерь рабочей жидкости, вследствие ее выдавливания из рабочей полости через отверстие для штока.

2) Из-за конструктивных особенностей данной схемы при увеличении угла наклона в вертикальной плоскости гидроцилиндры наклона начинают увеличивать габарит НПУ. Эта особенность не только ограничивает диапазон наклона навесного оборудования, но и не позволяет работать в узких проемах из-за риска повреждения штока гидроцилиндра.

3) Невозможность обеспечения точного позиционирования на всем диапазоне наклона. Это связано с тем, что в конце хода гидроцилиндр начинает испытывать сильные внешние нагрузки, которые не позволяют гарантированно удерживать рабочий орган в определенном положении.

Используя наработки и передовой опыт различных производителей в проектировании НПУ,

была разработана перспективная отечественная модель НПУ (рис. 2), которая лишена вышеизложенных недостатков. В предлагаемой конструкции НПУ вместо классической системы из двух гидроцилиндров предлагается использовать поворотный гидроцилиндр (3).

Крутящий момент с вала поворотного гидроцилиндра передается через кронштейн (4) на рукоять экскаватора, что позволяет совершать НПУ вращательное движение. Снизу НПУ оснащено гидравлическим быстросъемным механизмом (5), который позволяет произвести быстрое снятие и установку навесного оборудования. Для выполнения вспомогательных работ НПУ может оснащаться навесным стационарным захватом (6), предназначенным для захвата мелкогабаритных грузов, выполнения погрузочно-разгрузочных работ, извлечения старых деревянных шпал и многого другого. Захват приводится в движение с помощью системы из двух связанных гидроцилиндров (7), оснащенных специальными кожухами, для защиты штока от механических повреждений.

Благодаря использованию в конструкции встроенного специального поворотного гидроцилиндра (рис. 3) НПУ может наклоняться на угол  $50^\circ$  в обе стороны относительно вертикальной плоскости. Поворотный гидроцилиндр позволяет преобразовать поступательное движение во вращательное. Для этого в гидроцилиндр двойного действия устанавливаются две передачи типа «винт-гайка» скольжения.

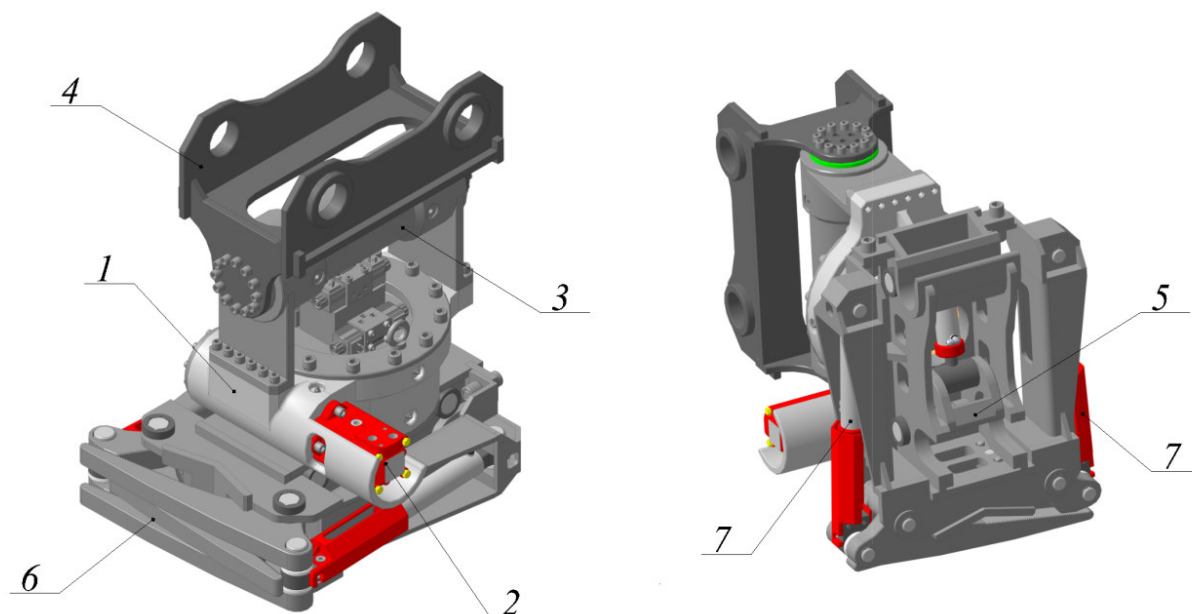


Рис. 2. 3D модель наклонно-поворотного устройства.

1 – червячная передача; 2 – гидромотор; 3 – поворотный гидроцилиндр;  
4 – кронштейн; 5 – быстросъемный механизм; 6 – захват; 7 – гидроцилиндр

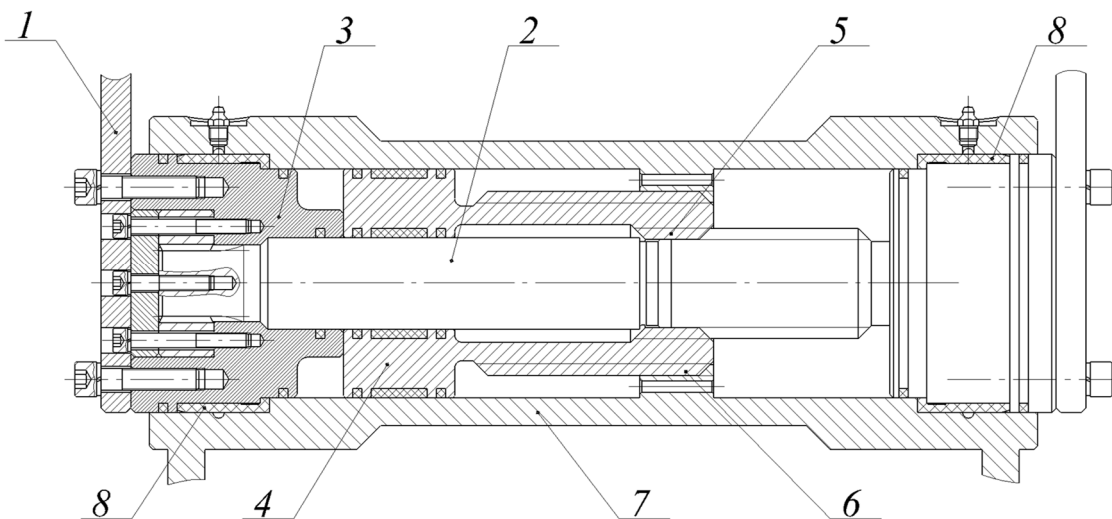


Рис. 3. Поворотный гидроцилиндр:

1 – кронштейн; 2 – вал; 3 – крышка; 4 – поршень; 5 – внутренняя резьба (правая); 6 – внешняя резьба (левая); 7 – корпус; 8 – подшипники скольжения

Принцип работы поворотного гидроцилиндра заключается в следующем: кронштейн (1) одним концом крепится через проушины к рукояти экскаватора, а другим концом привинчивается к торцу крышки (3) и торцу вала (2). После подачи рабочей жидкости в левую полость гидроцилиндра поршень (4) начинает перемещаться вправо, относительно неподвижного вала (2) и при этом поворачиваться по внутренней правой резьбе (5).

Поршень совершает как прямолинейное, так и вращательное движение, а за счет наличия

внешней левой резьбы (6) корпус (7), который опирается на подшипники скольжения (8), начинает совершать вращательное движение в противоположном направлении, тем самым передавая крутящий момент на НПУ.

Поскольку на данный момент не существует стандартной методики расчета поворотного гидроцилиндра был разработан алгоритм расчета (рис. 4) основных параметров механизма. Алгоритм составлен на основе общеизвестных методик и зависимостей [13–17].

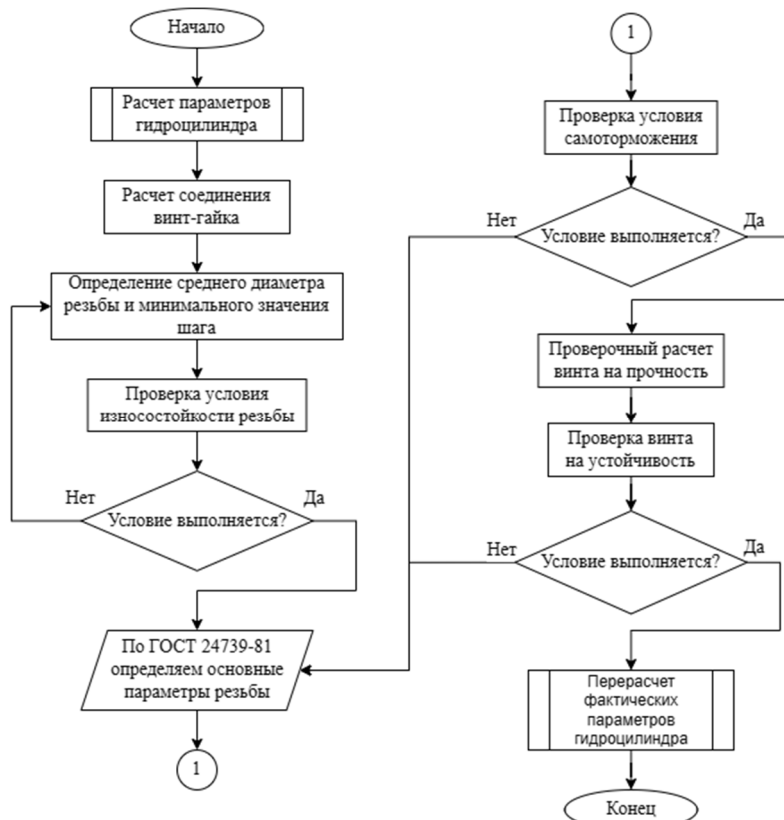


Рис. 4. Алгоритм расчета поворотного гидроцилиндра

В соответствии с представленным алгоритмом расчет начинается с определения основных геометрических параметров гидроцилиндра, расчетные параметры которого аналогичны параметрам гидроцилиндра двойного действия с односторонним штоком.

Для преобразования поступательного движения во вращательное в предложенной конструкции применяется трапецеидальная резьба, основной причиной выхода из строя которой является износ витков резьбы гайки. Поэтому предварительные значения среднего диаметра резьбы и шага резьбы определяются из условия износоустойчивости.

В расчетах с учетом кинематики движения принята внешняя левая резьба, а внутренняя резьба правая, поскольку подвижные детали вращаются в противоположных направлениях. Для обеих резьб значение шага (для многозаходных резьб значение хода резьбы) должно быть одинаковым, это необходимо для обеспечения работоспособности передачи в обоих направлениях. Расчет передачи винт-гайка следует начинать с резьбы внутреннего зацепления, поскольку она является более нагруженной, чем внешняя.

Далее по алгоритму производится проверка резьбы на самоторможение. Это необходимо для стопорения рабочего органа в случае повреждения гидролинии или ее обрыва. Также предусматривается проверка механизма на прочность

при совместном действии напряжений сжатия (растяжения) и кручения в опасном сечении по эквивалентному напряжению.

В процессе эксплуатации вал работает на сжатие, поэтому необходима его проверка на устойчивость при продольном изгибе. При значениях гибкости  $\lambda \leq 55$  проверку на продольный изгиб можно не выполнять. Стальные винты при гибкости  $\lambda \geq 100$  проверяют на устойчивость по величине критической силы.

Если условия прочности и устойчивости не выполняются, то необходимо выбрать резьбу с большим диаметром и повторить расчеты винта на самоторможение, прочность и устойчивость. После выполнения всех условий необходимо выполнить перерасчет фактических параметров гидроцилиндра.

Полученная в результате расчетов зависимость среднего диаметра резьбы от осевой силы (рис. 5) позволяет по заданным значениям осевой силы определить минимально необходимый средний диаметр резьбы.

Из полученного графика следует, что минимальный средний диаметр внутренней резьбы следует принимать равным или большим 40 мм, поскольку, начиная с этого значения, резьба начинает воспринимать гораздо большие значения осевой силы.

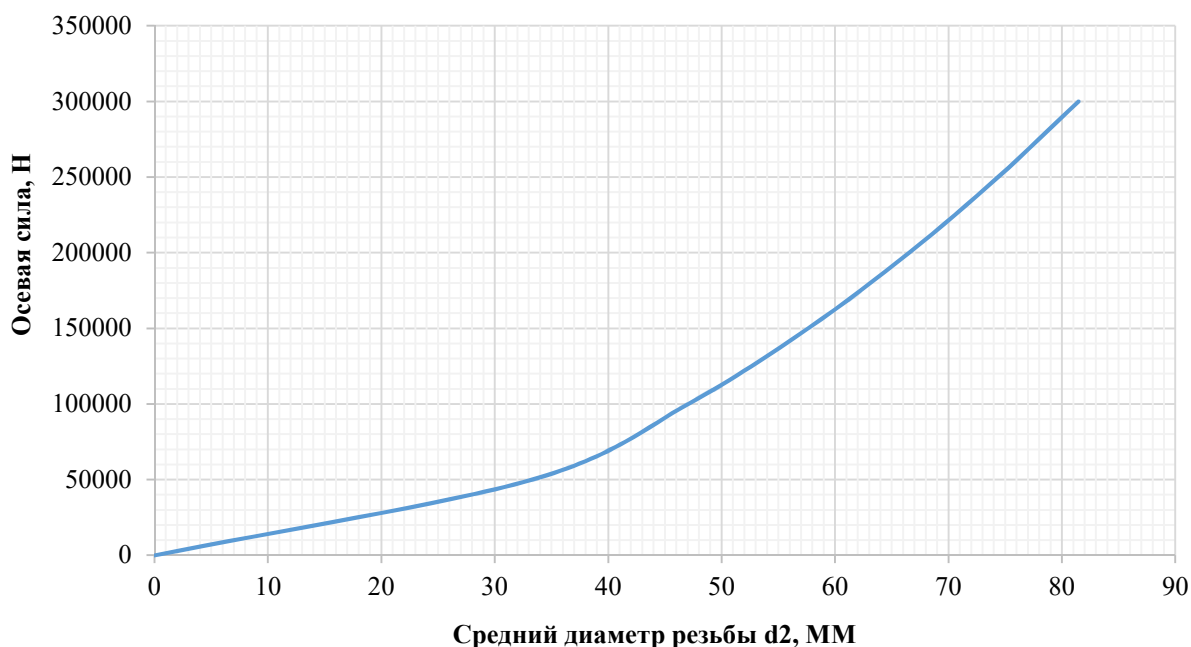


Рис. 5. Зависимость значения среднего диаметра резьбы от осевой силы

В нашем случае осевому усилию, равному 150 кН, соответствует минимальное значение среднего диаметра резьбы, равное 57,6 мм.

Также была получена зависимость значения угла подъема винтовой линии резьбы от шага резьбы и числа заходов (рис. 6), по которой

можно определить наилучшие сочетания значений числа заходов и шага резьбы.

Для данной конструкции угол подъема винтовой линии резьбы не должен превышать 0,18, исходя из условия самоторможения резьбы.



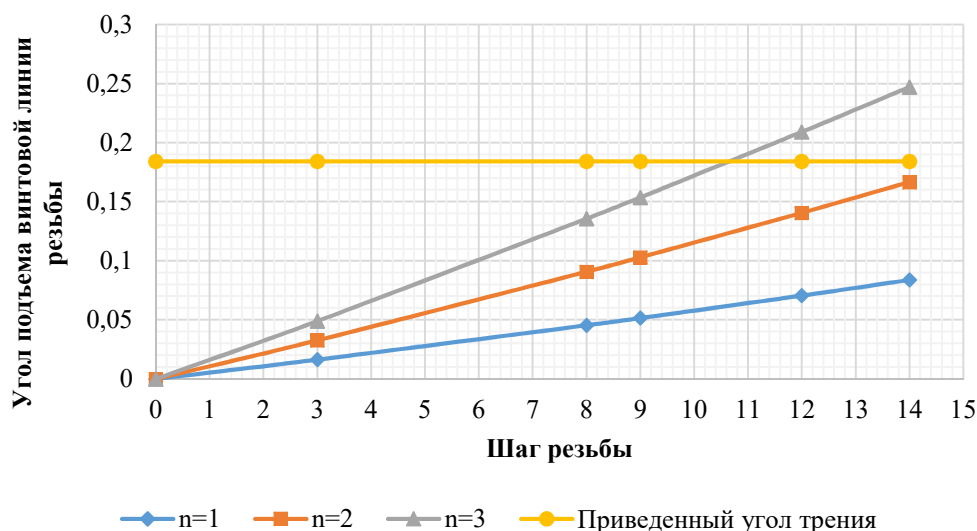


Рис. 6. Зависимость значения угла подъема винтовой линии резьбы от шага резьбы и числа заходов

При больших значениях шага резьбы предпочтительно выбирать число заходов резьбы  $n=2, 3$ , так как при таких параметрах значение угла подъема винтовой линии резьбы будет меньше приведенного угла трения.

Также стоит отметить, что изменение шага резьбы в меньшей степени влияет на значение угла подъема винтовой линии резьбы, чем изменение числа заходов.

Оптимальным является использование двухзаходной резьбы с крупным шагом, так как она имеет больший КПД по сравнению с однозаходной, но при этом проще в изготовлении, чем трехзаходная резьба.

#### Выводы.

1) Составлен алгоритм расчета поворотного гидроцилиндра и приведена обобщенная методика, позволяющая определить основные параметры гидроцилиндра и передачи винт гайка для дальнейшего конструирования механизма.

2) По результатам расчетов получены зависимости значения среднего диаметра резьбы от осевой силы и значения угла подъема винтовой линии резьбы от шага резьбы и числа заходов, позволяющие подобрать наилучшие параметры резьбы по заданным входным данным. Даны общие рекомендации по выбору параметров резьбы передачи винт-гайка.

3) Предложена и разработана перспективная 3D модель НПУ в САД системе КОМПАС-3D. Использование разработанной конструкции НПУ со встроенным специальным поворотным гидроцилиндром увеличивает спектр выполняемых задач экскаватора, снижает время на выполнение операций, обеспечивает точное позиционирование рабочего органа, сокращает время на переналадку оборудования, позволяет работать в условиях ограниченной площадки, а также поз-

воляет сократить количество необходимой техники и уменьшить трудозатраты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Транспорт в России. 2022: Стат.сб./Росстат. Т65 М., 2022 С. 37 [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13229> (дата обращения 30.01.2023)
2. Попович М.В., Бугаенко В.М. Путевые машины. Полный курс: учебник. Москва, 2009. 820 с.
3. Шубин А.А., Витчук П.В., Смоловик А.Е. Варианты модернизации шпалоподбойки // Мир транспорта. 2015. Т. 13, № 6(61). С. 78–87.
4. Шубин А. А., Витчук П.В. Комплекс для ремонта и восстановления контактной сети // Мир транспорта. 2016. Т. 14, № 3(64). С. 80–87.
5. Sleeper changing machine MRT2 / Geismar. 2022. [Электронный ресурс] URL: <https://geismar.com/products/mrt2/?lang=en> (дата обращения: 02.12.2022)
6. Self-propelled and off-trackable ballast tamping machine BRAD / Geismar. 2022. [Электронный ресурс] URL: <https://geismar.com/products/self-propelled-off-trackable-ballast-tamping-machine-brad/?lang=en> (дата обращения: 02.12.2022)
7. Hydraulic modular ballast tamper for track & turnouts BRM8 AC / Geismar. 2022. [Электронный ресурс] URL: <https://geismar.com/products/hydraulic-modular-ballast-tamper-for-track-turnouts-brm8ac/?lang=en> (дата обращения: 02.12.2022)
8. Колесные экскаваторы серии ЕК [Электронный ресурс] URL: [http://www.terex-zm.ru/catalog/seriya\\_ek](http://www.terex-zm.ru/catalog/seriya_ek) (дата обращения: 02.12.2022).
9. Каталог товаров / Engcon. 2022. [Электронный ресурс] URL:

<https://engcon.com/en/tiltrotators.html> (дата обращения: 02.12.2022).

10. Каталог товаров / Steelwrist. 2022. [Электронный ресурс] URL: <https://steelwrist.com/int/products/tiltrotators/> (дата обращения: 02.12.2022)

11. Каталог товаров / ИНТЕХРОС. 2022. [Электронный ресурс] URL: <https://intehros.ru/produksiya/naklonno-povorotnoe-ustroystvo/> (дата обращения: 02.12.2022)

12. Каталог товаров / JK Technology. 2022. [Электронный ресурс] URL: [http://www.jkattach.co.kr/page.php?Main=2&sub=8&tab=1&pd\\_no=82](http://www.jkattach.co.kr/page.php?Main=2&sub=8&tab=1&pd_no=82) (дата обращения: 02.12.2022)

13. Лепёшкин А.В., Михайлин А.А. Гидравлические и пневматические приводы. М.: Академия, 2004. 336 с.

14. Слюсарев А.Н. Гидравлические и пневматические элементы и приводы промышленных роботов. М.: Машиностроение, 1989. 167 с.

15. Свешников В.К. Станочные гидроприводы. М.: Машиностроение, 2008. 512 с.

16. Варганов В.О., Аввакумов М.В., Колычев В.М., Гребенникова В.А., Романов В.А. Передача винт – гайка: учебное пособие. СПбГТУРП. СПб., 2015. 57 с.

17. Бельков В.Н., Захаренков Н.В., Захарова Н.В., Лесняк И.Ю. Прикладная механика. Расчет соединений деталей машин: учебное пособие. Омск: Омский государственный технический университет, 2021. 252 с.

#### Информация об авторах

**Шубин Александр Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой МК9 "Подъемно-транспортные системы". E-mail: [ashubin@bmstu.ru](mailto:ashubin@bmstu.ru). Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Россия, 248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2.

**Смоловик Андрей Евгеньевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры МК9 "Подъемно-транспортные системы". E-mail: [smolovik@bmstu.ru](mailto:smolovik@bmstu.ru). Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Россия, 248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2.

**Васильев Виталий Александрович**, студент кафедры МК9 "Подъемно-транспортные системы". E-mail: [Vitaliy27.0@yandex.ru](mailto:Vitaliy27.0@yandex.ru). Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Россия, 248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2.

Поступила 21.03.2023 г.

© Шубин А.А., Смоловик А.Е., Васильев В.А., 2023

**Shubin A.A., Smolovik A.E., \*Vasiliev V.A.**

*Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch*

*\*E-mail: Vitaliy27.0@yandex.ru*

## DEVELOPMENT OF THE DESIGN AND RESEARCH OF THE TILT-TURNING DEVICE FOR MULTIFUNCTIONAL COMPLEXES

**Abstract.** *The paper proposes the concept of using a machine with a combined stroke based on a wheeled excavator equipped with a tilt-turning device for the repair and maintenance of railway tracks. The current maintenance of the track includes the systematic supervision of the condition of the track structures and track devices and their maintenance in a condition that guarantees the safe movement of trains. It is grounded the expediency of the using road-rail vehicle and the use of tilt-turning devices for various types of work, such as lifting and straightening the track, changing sleepers, laying ballast, clearing railway tracks from snow, and much more. A promising domestic design of a tilt-turning device has been developed with the introduction of a hydraulic rotary actuator into the design. A 3D model of the developed tilt-turning device is built in CAD КОМПАС-3D. The algorithm and the generalized method for calculating of the rotary hydraulic cylinder are presented. It is based on the results of calculations the dependence of the value of the mean thread diameter on the axial force and the value of the angle of climb of the screw thread line from the thread step and the number of turns, allowing to choose the best thread parameters.*

**Keywords:** *current maintenance and repair of railway tracks, tilt-turning device, tiltrotator, hydraulic rotary actuator, method of calculating.*

### REFERENCES

1. Transport in Russia [Transport v Rossii]: Statistics digest/Rosstat – Т65 М., 2022. Pp. 37.

URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13229> (date of treatment: 30.01.2023)

2. Popovich M.V., Bugaenko V.M. Track machines. Full course: textbook. [Putevye mashiny. Polnyj kurs: uchebnik]. Moscow, 2009. 820 p. (rus)

3. Shubin A.A., Vitchuk P.V. Smolovik A.E. Design and analysis of track packing machine modernization [Varianty modernizacii shpalopodbojki]. World of Transport and Transportation. 2015. Vol. 13, No. 6(61). Pp. 78-87. (rus)
4. Shubin A.A., Vitchuk P.V. System for maintenance and recovery of contact network [Kompleks dlya remonta i vosstanovleniya kontaktnoj seti]. World of Transport and Transportation. 2016. Vol. 14, No. 3(64). Pp. 80-87. (rus)
5. Sleeper changing machine MRT2 / Geismar. URL: <https://geismar.com/products/mrt2/?lang=en> (date of treatment: 02.12.2022)
6. Self-propelled and off-trackable ballast tamping machine BRAD / Geismar. URL: <https://geismar.com/products/self-propelled-off-trackable-ballast-tamping-machine-brad/?lang=en> (date of treatment: 02.12.2022)
7. Hydraulic modular ballast tamper for track & turnouts BRM8 AC / Geismar. URL: <https://geismar.com/products/hydraulic-modular-ballast-tamper-for-track-turnouts-brm8ac/?lang=en> (date of treatment: 02.12.2022)
8. Wheel excavators of EK-series [Kolesnye ekskavatory serii EK] URL: [http://www.terex-zm.ru/catalog/seriya\\_ek](http://www.terex-zm.ru/catalog/seriya_ek) (date of treatment: 02.12.2022).
9. Product catalog / Engcon. 2022. URL: <https://engcon.com/en/tiltrotators.html> (date of treatment: 02.12.2022).
10. Product catalog / Steelwrist. URL: <https://steelwrist.com/int/products/tiltrotators/> (date of treatment: 02.12.2022)
11. Product catalog / INTECHROS. URL: <https://intechros.com/produktsiya/tiltrotator/> (date of treatment: 02.12.2022)
12. Product catalog / JK Technology. URL: [http://www.jkattach.co.kr/page.php?Main=2&sub=8&tab=1&pd\\_no=82](http://www.jkattach.co.kr/page.php?Main=2&sub=8&tab=1&pd_no=82) (date of treatment: 02.12.2022)
13. Lepeshkin A.V., Mikhailin A.A. Hydraulic and pneumatic drives. [Gidravlicheskie i pnevmaticheskie privody]. Academy, 2004. 336 p. (rus)
14. Slusarev A.N. Hydraulic and pneumatic elements and actuators of industrial robots. [Gidravlicheskie i pnevmaticheskie elementy i privody promyshlennyh robotov]. Engineering, 1989. 167 p. (rus)
15. Sveshnikov V.K. Machine Hydraulic Actuators. [Stanochnye gidroprivody]. Engineering, 2008. 512 p. (rus)
16. Varganov V.O., Avvakumov M.V., Kolychev M.V., Grebennikov V.M., Romanov V.A., Transmission of screw [Peredacha vint-gajka]: SPbGTUR. SPb., 2015. 57 p. (rus)
17. Belkov V.N., Zakharenkov N.V., Zakharova N.V., Lesnyak I.Y. Applied mechanics. Calculation of joints of machine parts: study. manual [Prikladnaya mekhanika. Raschet soedinenij detalej mashin] Ministry of Education and Science of Russia. Omsk: Omsk State Technical University, 2021. 252 p. (rus)

#### *Information about the authors*

**Shubin, Alexander A.** PhD, assistant professor. E-mail: [ashubin@bmstu.ru](mailto:ashubin@bmstu.ru). Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch. Russia, 248000, Kaluga, st. Bazhenova, 2.

**Smolovik, Andrey E.** PhD, assistant professor. E-mail: [smolovik@bmstu.ru](mailto:smolovik@bmstu.ru). Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch. Russia, 248000, r. Kaluga, st. Bazhenova, 2.

**Vasiliev, Vitaly A.** Student. E-mail: [Vitaliy27.0@yandex.ru](mailto:Vitaliy27.0@yandex.ru). Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch. Russia, 248000, Kaluga, st. Bazhenova, 2.

---

*Received 21.03.2023*

#### **Для цитирования:**

Шубин А.А., Смоловик А.Е., Васильев В.А. Разработка конструкции и исследование наклонно-поворотного устройства для многофункциональных комплексов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 6. С. 94–101. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-94-101

#### **For citation:**

Shubin A.A., Smolovik A.E., Vasiliev V.A. Development of the design and research of the tilt-turning device for multifunctional complexes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 6. Pp. 94–101. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-94-101