

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА
ПОВОРОТА КОЛОННЫ МАНИПУЛЯТОРА АВТОСОРТИМЕНТОВОЗА**

Хоменко К.Г. Попикова А.В.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**RESULTS OF RESEARCH OF WORKING PROCESSES
OF ENERGY-SAVING HYDRAULIC DRIVE OF MECHANISM OF TURN
OF COLUMN OF MANIPULATOR OF AUTOMOBILE CARRIAGE**

Khomenko K.G. Popikova A.V.

**Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia**

Аннотация: В данной работе приведены результаты исследования энергоёмкости и динамической нагруженности механизма поворота колонны манипулятора автолесовоза на основе разработанной математической модели рабочих процессов и обоснования параметров энергосберегающего гидропривода. С целью уменьшения потребления энергии и снижение динамических нагрузок на лесозаготовительный манипулятор за счет усовершенствования гидропривода разработана методика экспериментальных исследований и изготовлен специальный лабораторный стенд, воспроизводящий работу энергосберегающего гидропривода поворотного механизма колонны.

Abstract: This paper presents the results of a study of the energy intensity and dynamic load of the rotation mechanism of the manipulator column of a logging truck based on the developed mathematical model of the working processes and the justification of the parameters of the energy-saving hydraulic drive. In order to reduce energy consumption and dynamic loads on the logging manipulator by improving the hydraulic drive, a method for experimental research has been developed and a special laboratory bench has been created to simulate the operation of the energy-saving hydraulic drive of the rotation mechanism of the column.

Ключевые слова: манипулятор, механизм поворота, энергосберегающий гидропривод, эффективность, энергосбережение, рекуперация.

Keywords: manipulator, rotary mechanism, energy-saving hydraulic drive, efficiency, energy saving, recovery.

Данная работа посвящена оптимизации энергопотребления и снижению динамических нагрузок в механизме поворота колонны манипулятора автолесовоза. В основе исследования лежит разработанная математическая модель, описывающая рабочие процессы системы, и обоснование параметров специ-

ально разработанного энергосберегающего гидропривода. В качестве объекта исследования выбран механизм поворота колонны серийного лесного манипулятора «Атлант С100», это позволяет получить конкретные результаты, применимые к реальному оборудованию, и оценить эффективность предлагаемых решений на практике.

Предметом исследования является глубокое изучение математической модели процесса поворота колонны, модель учитывает такие критически важные факторы, как объемная жесткость элементов энергосберегающего гидропривода. Особое внимание уделяется теоретическим зависимостям, описывающим давление рабочей жидкости в гидросистеме на разных этапах рабочего цикла. Это позволяет не только понять происходящие процессы, но и предсказать поведение системы в различных условиях эксплуатации, включая экстремальные нагрузки. Точное моделирование объемной жесткости, позволяет учесть влияние сжимаемости масла на динамику системы и более точно спрогнозировать давление в гидросистеме, что в свою очередь, необходимо для выбора оптимальных параметров элементов гидропривода, обеспечивающих как эффективность, так и надежность.

В рамках исследования предлагается принципиально новая конструкция энергосберегающего гидропривода. Ключевое отличие этой конструкции (рис. 1) – наличие двух дополнительных гидроцилиндров рекуперации (10 и 11), соединенных с гидроаккумулятором (18). Эта конструкция позволяет эффективно рекуперировать энергию, которая обычно рассеивается в виде тепла при торможении поворотной колонны (1), установленной на раме (2). При остановке поворота колонны гидролинии (7 и 8) перекрываются, под действием инерционных сил движение колонны продолжается, что приводит к повышению давления в полостях силовых гидроцилиндров (5 и 6), одновременно, избыточное давление возникает и в гидроцилиндрах рекуперации (10 и 11). Благодаря обратным клапанам (15 и 16), рабочая жидкость под давлением перетекает в гидроаккумулятор (18), накапливая энергию и эффективно гася колебания давления в силовых гидроцилиндрах и их гидролиниях, тем самым снижая динамические нагрузки на механизм в целом.

При полностью заряженном гидроаккумуляторе (18) рабочая жидкость перенаправляется через обратный клапан (31) в разгрузочный клапан (29). Это превращает предохранительный клапан (30) в переливной, и насос (33) переходит в режим холостого хода, что снижает потребление энергии насосом, являясь дополнительным фактором энергосбережения [1].

В предлагаемой конструкции механизма поворота колонны манипулятора автосортиментовоза предусмотрена система подпитки гидроцилиндров рекуперации. При повороте вертикального основания в ту или иную сторону в полостях энергосберегающих цилиндров 10 или 11 создается разрежение, и рабочая жидкость из гидробака 22 по линии 21 поступает на вход цилиндров через обратные клапаны 19 или 20.

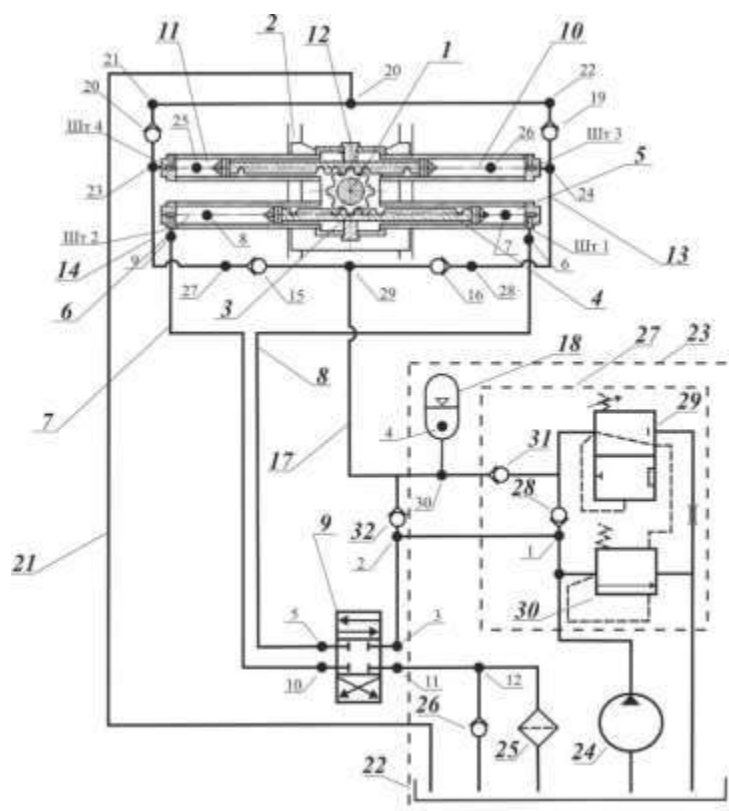


Рисунок 1 – Гидрокинематическая схема энергосберегающего гидропривода механизма поворота колонны манипулятора автосортиментовоза с учетом объемной жесткости энергосберегающего гидропривода

В статье [2] рассмотрена математическая модель рабочего процесса, предлагаемого механизма поворота колонны манипулятора, в которой гидравлическая система манипулятора представлена в виде отдельных полостей (рис. 2). Математическая модель включает дифференциальные уравнения вращательного движения колонны, расходов рабочей жидкости и рабочего процесса гидроаккумулятора. Приведены графики перемещения и скорости поршня гидроцилиндра (рис. 3), из которого видно, что при перемещении поршня начинается через 1,4 с момента включения насоса. В этот момент скорость поршня достигает величины 0,9 м/с, а затем выходит на уровень среднего значения 0,4 м/с.

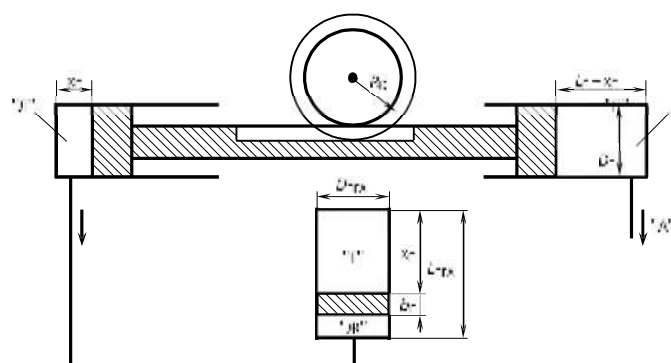


Рисунок 2 – Расчетная схема энергосберегающего гидропривода механизма поворота колонны манипулятора

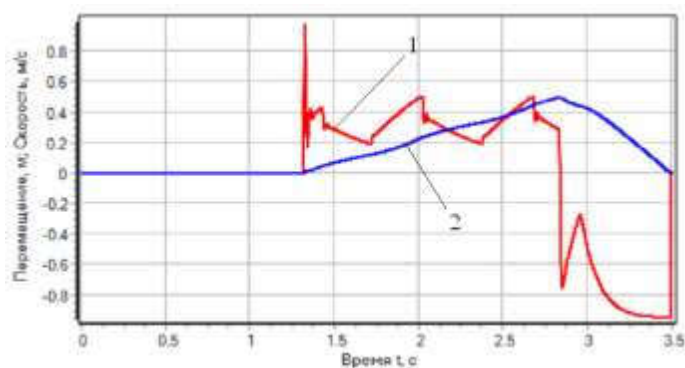


Рисунок 3 – Изменение во времени параметров движения поршня гидравлического цилиндра: 1 – скорость движения; 2 – перемещение.

Для проведения лабораторных исследований использовался серийный манипулятор ЛВ–210–01 Майкопского машиностроительного завода, установленный на сварной раме из швеллеров. Манипулятор был соединен с насосной станцией, оснащенной насосом НШ-32. Для точного измерения давления рабочей жидкости в систему был интегрирован датчик давления ZET 315. Выбор именно этой модели обусловлен ее высокой точностью, надежностью и устойчивостью к агрессивным средам. Датчик ZET 315 преобразует давление жидкости в электрический сигнал, который обрабатывается и отображается на контрольно-измерительной аппаратуре, обеспечивая детальный анализ работы системы и точную оценку ее энергоэффективности [3].

Для изучения поведения гидропривода [4] выполнен анализ поршневых камер гидроцилиндров. При этом учитывается как наличие, так и отсутствие гидропневмоаккумулятора в гидравлической системе манипулятора ЛВ-210-01 (рис. 4).

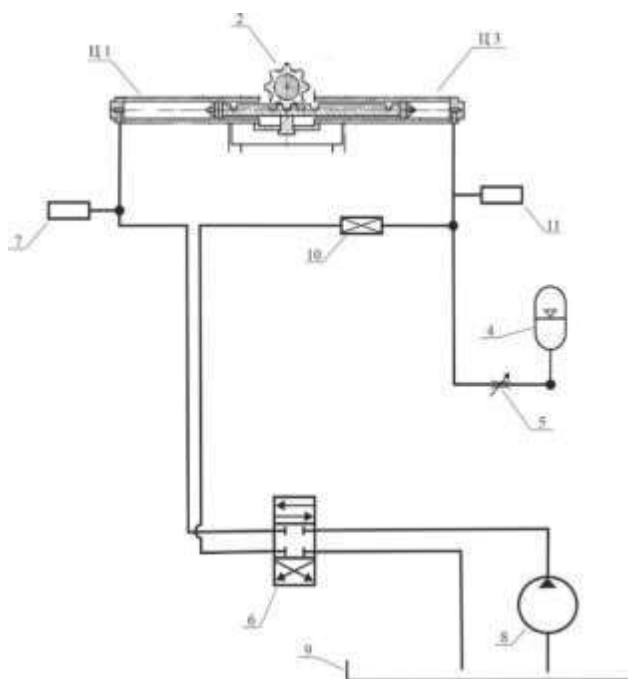


Рисунок 4 – Гидрокинематическая схема лабораторного стенда, включающего гидроманипулятор модели ЛВ-210-01.

Порядок проведения лабораторного эксперимента: включение гидрораспределителя 6 на подачу рабочей жидкости в гидроцилиндр 1 при открытом кране 10 и закрытом дросселе 5, поворот колонны 2 против часовой стрелки на углы поворота (60° ; 120°); после каждого поворота распределитель ставится в нейтральное положение, одновременно закрывается кран 10 и открывается дроссель 5. Колонна по инерции в режиме торможения продолжает поворот против часовой стрелки и накапливает энергию в гидроаккумуляторе 4. При полной остановке колонны закрывается дроссель 5. Остановка колебаний груза 10 секунд; открытие дросселя 5, включение распределителя 6 на слив рабочей жидкости из гидроцилиндра 1 в гидробак 9 и измерение угла поворота колонны от гидроаккумулятора 4.

Проведение исследования работы механизма поворота гидроманипулятора предлагается выполнить по методике полнофакторного эксперимента при следующих параметрах: масса груза: 100 кг; вылет стрелы: 1,6 м; 2,7 м; 3,8 м; максимальный угол поворота колонны 180° ; номинальное давление в гидросистеме 20 МПа; номинальный расход рабочей жидкости 26 л/мин; используемый гидрораспределитель Badestnost 5–408; предварительная зарядка гидроаккумулятора 5 МПа. Измерение давлений в гидроцилиндрах Ц1 и Ц3 проводится при пошаговом повороте колонны на угол 30° . Гидроцилиндр 3 выполняет функцию гидроцилиндра рекуперации.

Результаты анализа исследований дают понять, что использование энергосберегающего гидропривода позволяет снизить энергопотребление при повороте колонны на 25% и увеличить производительность всего манипулятора на 14%. Кроме того, использованный в системе гидроаккумулятор способен накапливать энергию в диапазоне от 1,7 до 2,1 кВт. Полученные данные свидетельствуют о перспективности дальнейших исследований в области динамики энергосберегающих гидроприводов, применяемых в грузоподъемных механизмах высоконагруженных лесотранспортных машин.

Список литературы

1. Моделирование работы механизма поворота колонны манипулятора автосортиментовоза с учетом объемной жесткости энергосберегающего гидропривода / А.Т. Рыбак, П.И. Попиков, Д.Ю. Дручинин [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14, № 2(54). – С. 280-294. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.2/16.

2. Analysis of studies of work processes of energy-saving hydraulic drives and devices of highly loaded technological machines and equipment / P.I. Popikov, I.V. Derepasko, K.G. Khomenko [et al.] // E3s web of conferences : International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2023), Blagoveshchensk, 08-10 ноября 2023 года. Vol. 462. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – P. 01039. – DOI 10.1051/e3sconf/202346201039.

3. Попиков П.И. Стенд для испытаний грузоподъемных механизмов лесных маманипуляторов с рекуперацией энергии/ П.И. Попиков, А.В.Конюхов, С.К.Попиков [и др.] // В сборнике: Энергоэффективность и энергосбережение в

современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Воронеж, 2022. с. 105-110.

4. Драпалюк М.В. Моделирование рабочего процесса гидравлического пульсатора манипулятора лесных машин / М.В. Драпалюк, А.А. Платонов, П.И. Попиков // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15, № 2(58). – С. 191-206. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2025.2/12.

References

1. Modeling the operation of the rotation mechanism of the manipulator column of a timber truck taking into account the volumetric rigidity of the energy-saving hydraulic drive / A.T. Rybak, P.I. Popikov, D.Yu. Druchinin [et al.] // Forestry journal. – 2024. – Vol. 14, № 2 (54). – pp. 280-294. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.2/16

2. Analysis of studies of work processes of energy-saving hydraulic drives and devices of highly loaded technological machines and equipment / P.I. Popikov, I.V. Derepasko, K.G. Khomenko [et al.] // E3s web of conferences : International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2023), Blagoveshchensk, 08-10 ноября 2023 года. Vol. 462. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – P. 01039. – DOI 10.1051/e3sconf/202346201039.

3. Popikov P.I. Test rig for lifting mechanisms of forestry manipulators with energy recovery / P.I. Popikov, A.V. Konyukhov, S.K. Popikov [et al.] // In the collection: Energy efficiency and energy saving in modern production and society. Proceedings of the international scientific and practical conference. Voronezh, 2022. pp. 105-110.

4. Drapalyuk M.V. Modeling the working process of the hydraulic pulsator of the manipulator of forest machines / M.V. Drapalyuk, A.A. Platonov, P.I. Popikov // Forestry journal. – 2025. – Vol. 15, № 2 (58). – pp. 191-206. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2025.2/12.