

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА
ЛЕСНОГО МАНИПУЛЯТОРА**

К.Г. Хоменко

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

А.В. Попикова

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

Аннотация: Данная работа посвящена исследованию и разработке энергосберегающего гидропривода механизма поворота колонны лесного гидроманипулятора. Проведен обзор существующих научных работ по данной тематике. Главная цель – уменьшить потребление энергии и снизить динамические нагрузки на лесозаготовительный манипулятор за счет усовершенствования гидропривода. Для достижения этой цели разработана методика экспериментальных исследований и изготовлен специальный лабораторный стенд, воспроизводящий работу энергосберегающего гидропривода поворотного механизма колонны.

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

**DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL RESEARCH METHODOLOGY
ENERGY-SAVING HYDRAULIC DRIVE OF THE TURN MECHANISM OF
THE FOREST MANIPULATOR**

K.G. Khomenko

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

A.V. Popikova

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

Abstract: This work is devoted to the research and development of an energy-saving hydraulic drive for the rotation mechanism of a forest hydraulic manipulator column. A review of existing scientific works on this topic has been conducted. The main goal is to reduce energy consumption and dynamic loads on the logging manipulator by improving the hydraulic drive. To achieve this goal, a method for experimental research has been developed, and a special laboratory bench has been created to simulate the operation of an energy-saving hydraulic drive for the rotation mechanism of the column.

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

Энергоэффективность технологических машин – острая проблема как в нашей стране, так и за рубежом. Оптимизация потребления энергии в гидроприводах – одно из

перспективных направлений в этом контексте. Существующие исследования [1-2] уже показали значительный потенциал рекуперации энергии в системах с гидроаккумуляторами, применяемых, например, в прессах. В этих работах анализировались различные методы регулирования скорости штока гидроцилиндра, с целью повышения эффективности работы пресса. Разработанные математические модели, смоделированные в среде SimInTech, позволили оценить влияние параметров гидропривода на коэффициент эффективности, выявив ключевые факторы, определяющие энергопотребление. Полученные результаты указывают на возможность существенного снижения энергозатрат при грамотном проектировании и управлении гидросистемой.

Другой пример – разработка энергосберегающего гидропривода, описанная в работе [3]. Созданный экспериментальный стенд, включающий в себя датчики давления типа ПД-100 и тензолaborаторию ZETLAB ZET 058, позволил провести всесторонние лабораторные исследования. Результаты этих исследований убедительно показали, что использование энергосберегающего гидропривода приводит к значительному сокращению энергоемкости рабочего процесса – на 65-70%. Более того, удалось уменьшить амплитуду колебаний давления в переходных режимах в 1,2-1,3 раза, что положительно сказывается на долговечности оборудования и снижает риск возникновения аварийных ситуаций. Уменьшение пиковых значений давления особенно важно для обеспечения плавной работы механизмов и предотвращения преждевременного износа компонентов гидросистемы [4]. Это достигается за счет оптимизации процессов управления потоками рабочей жидкости и минимизации гидравлических ударов [5].



**Рисунок 1 – Устройство обработки данных
(а) – тензометрическая станция ZET 058, (б) – компьютер для обработки полученных данных**

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. Гидропривод стендового манипулятора (рисунок 2) состоит из насосной станции 1 с насосом НШ-32 с приводом от асинхронного электродвигателя мощностью 11 кВт и частотой вращения 1450 об/мин, а также маслобак емкостью 45 литров, гидрораспределителя 2 марки Р-75, гидроцилиндра 3 привода стрелы 4, гидроцилиндра 5 привода удлинителя 6, гидроцилиндров 7 привода механизма поворота колонны 8, соединительных гибких трубопроводов (рукавов) высокого давления (РВД) 9.



Рисунок 2 – Общий вид стендового гидроманипулятора ЛВ–210 с насосной станцией



Рисунок 3 – Подсоединение контрольно-измерительной аппаратуры и пневмогидравлического демпфирующего устройства в грузоподъемный механизм стендового гидроманипулятора

В подводящий 11 (рисунок 3) и отводящий 12 трубопроводы, соединенными между собой, дополнительно подключен пневмогидроаккумулятор 13.

В ходе лабораторной калибровки датчика давления применяется насосная установка и измерительная система ZET 058. Давление в насосной системе ступенчато меняется на 0,5 МПа, при этом сигнал, поступающий с датчика, будет фиксироваться с помощью компьютера. ZET 058 преобразовывается из аналогового сигнала с датчика в цифровую форму и выводится на компьютер в виде графика и таблицы данных. Тарировка позволит установить точное соответствие между давлением в системе и показаниями датчика.

Полученные данные могут быть использованы для калибровки контрольно-измерительной аппаратуры и обеспечения точности измерений.

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

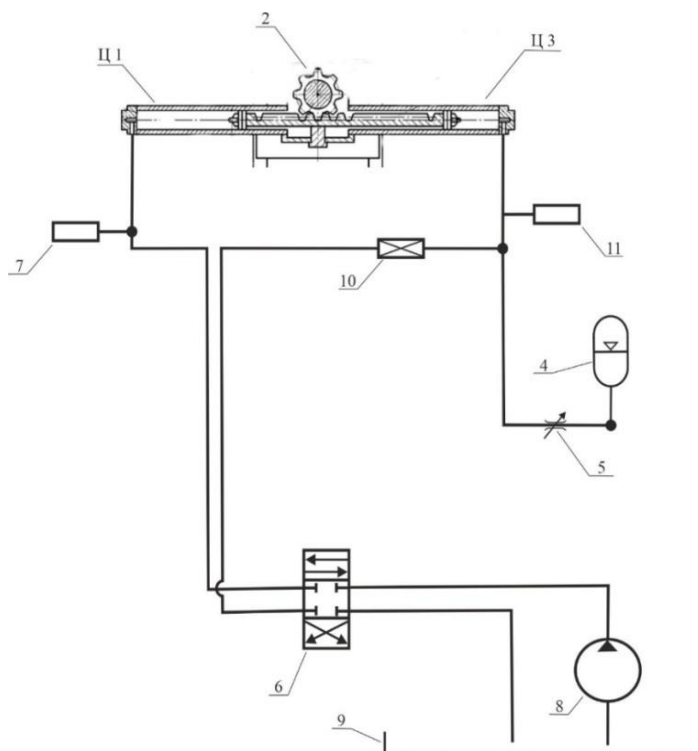


Рисунок 4 – Гидрокинематическая схема лабораторного стенда, включающего гидроманипулятор модели ЛВ-210-01.

Подготовительный этап:

1. Проверка и подготовка оборудования: Перед началом эксперимента необходимо убедиться в исправности всех компонентов гидросистемы, включая гидрораспределитель (в данном случае Badestnost 5-408), гидроцилиндры (основной цилиндр 1 и цилиндр рекуперации 3), гидроаккумулятор 4, дроссель 5, краны 10, гидробак 9, а также измерительное оборудование для регистрации давления и углов поворота. Следует проверить уровень рабочей жидкости в гидробаке и убедиться в отсутствии утечек.

2. Установка параметров эксперимента: в соответствии с планом полнофакторного эксперимента, необходимо установить значения варьируемых параметров:

Вылет стрелы: будут использованы три значения: 1,6 м, 2,7 м и 3,8 м.

Диаметр дросселя гидроаккумулятора 3,8 мм, 7,6 мм, 11,4 мм.

Масса груза 150 кг.

Максимальный угол поворота колонны зафиксирован на уровне 180°.

Номинальное давление в гидросистеме поддерживается на уровне 20 МПа.

Номинальный расход рабочей жидкости установлен на уровне 26 л/мин.

Предварительная зарядка гидроаккумулятора составляет 5 МПа.

3. Настройка измерительной аппаратуры: необходимо подключить датчики давления к гидроцилиндрам Ц1 и Ц3 и настроить систему регистрации данных для фиксации изменений давления в процессе поворота колонны. Также необходимо обеспечить точное измерение углов поворота колонны.

Этапы проведения эксперимента:

1. Первый этап: Поворот колонны и накопление энергии:

Кран 10 открывается, обеспечивая поступление рабочей жидкости к гидроцилиндру

1. Дроссель 5 при этом закрыт, чтобы создать сопротивление потоку рабочей жидкости.

Гидрораспределитель 6 переключается в положение, обеспечивающее подачу рабочей жидкости в гидроцилиндр 1, что приводит к повороту колонны 2 против часовой стрелки.

Поворот колонны осуществляется на заданные углы (60° и 120°). После каждого поворота гидрораспределитель переводится в нейтральное положение, прекращая подачу рабочей жидкости.

Одновременно с переводом распределителя в нейтральное положение закрывается кран 10 и открывается дроссель 5.

После прекращения подачи давления, колонна, обладая инерцией, продолжает поворот против часовой стрелки. Открытый дроссель 5 позволяет жидкости из гидроцилиндра поступать в гидроаккумулятор 4, накапливая энергию торможения.

Когда колонна полностью останавливается, дроссель 5 закрывается, фиксируя энергию, накопленную в гидроаккумуляторе.

Производится измерение давления в гидроцилиндрах Ц1 и Ц3 при пошаговом повороте колонны на угол 30° .

2. Второй этап: Торможение и стабилизация:

После полной остановки колонны необходимо выждать около 10 секунд для стабилизации колебаний груза. Это позволит избежать погрешностей при измерении угла поворота, вызванного возвратом энергии.

3. Третий этап: Использование накопленной энергии:

После стабилизации колебаний дроссель 5 открывается.

Гидрораспределитель 6 переключается в положение, обеспечивающее слив рабочей жидкости из гидроцилиндра 1 в гидробак 9. При этом энергия, накопленная в гидроаккумуляторе 4, высвобождается и приводит к повороту колонны в обратном направлении.

Производится замер угла поворота колонны, который произошел за счет энергии, запасенной в гидроаккумуляторе. Этот угол характеризует эффективность системы рекуперации энергии.

4. Повторение эксперимента:

Для получения достоверных результатов необходимо повторить эксперимент несколько раз для каждого сочетания параметров (масса груза и вылет стрелы). Это позволит оценить статистическую значимость полученных данных и выявить случайные ошибки.

Для каждой итерации записываются показания датчиков давления в гидроцилиндрах Ц1 и Ц3.

Анализ результатов:

1. Обработка данных: после завершения серии экспериментов необходимо обработать полученные данные. Это включает в себя:

Расчет среднего значения угла поворота колонны при использовании накопленной энергии для каждого сочетания параметров.

Определение зависимости угла поворота от массы груза и вылета стрелы.

Анализ изменений давления в гидроцилиндрах Ц1 и Ц3 в процессе поворота колонны и рекуперации энергии.

2. Оценка эффективности: на основе полученных данных проводится оценка эффективности системы рекуперации энергии. Это включает в себя:

Определение процентного соотношения энергии, возвращенной в систему, к затраченной энергии на поворот колонны.

Оценка влияния массы груза и вылета стрелы на эффективность рекуперации энергии.

Сравнение полученных результатов с теоретическими расчетами и данными, полученными в ходе предварительных испытаний.

Выводы:

На основе анализа результатов эксперимента формулируются выводы об эффективности применения энергосберегающего гидропривода на лесном манипуляторе. В частности, необходимо оценить:

Степень снижения энергоемкости механизма поворота при использовании системы рекуперации.

Влияние рекуперации энергии на динамическую нагруженность гидросистемы.

Оптимальные параметры работы системы (масса груза, вылет стрелы) для достижения максимальной эффективности рекуперации энергии.

Важные замечания:

При анализе результатов необходимо учитывать погрешности измерений и случайные факторы.

Гидроцилиндр 3 выполняет функцию гидроцилиндра рекуперации, обеспечивая возврат энергии торможения.

Результаты данного лабораторного эксперимента позволяют оценить перспективность использования энергосберегающих гидроприводов в лесных манипуляторах и разработать рекомендации по их оптимизации.

Список литературы

1. Вялов, С.А., Рыбак, А.Т., Цыбрий, И.К., Пелипенко, А.Ю. Трехскоростной гидромеханический привод возвратно-поступательного движения с рекуперацией энергии // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021; 9: 397-401.
2. Pelipenko A., Rybak A., Sarkisian D., Saakian S., Zhyravlyova A. Stand for Life Tests of Plunger Hydraulic Cylinders // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022; 246: 198–206.
3. Попиков, П.И. Стенд для испытаний грузоподъемных механизмов лесных манипуляторов с рекуперацией энергии/ П.И. Попиков, А.В.Конюхов, С.К.Попиков, А.В. Попикова // В сборнике: Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Воронеж, 2022. с. 105-110.
4. Федченко, В.Б., Хакимов, Э.Ф. Анализ компоновки перспективного Гибридного форвардера с мотор-Колесами к.т.н. Доцент Студент-магистр ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологии им. М. Ф. Решетнева // Сборник статей XLV Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2020. – 256 с.
5. Четверикова, И.В., Зимарин, С.В., Бурдыкин, А.В. К вопросу совершенствования гидропривода бесчокерного трелевочного захвата // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021: 197-199.

References

1. Vyalov S.A., Rybak A.T., Tsybri I.K., Pelipenko A.Yu. Three-speed hydromechanical reciprocating drive with energy recovery // Assembly in mechanical engineering, instrument engineering. 2021; 9: 397-401.
2. Pelipenko A., Rybak A., Sarkisian D., Saakian S., Zhyravlyova A. Stand for Life Tests of Plunger Hydraulic Cylinders // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022; 246: 198-206.
3. Popikov P.I. Test bench for lifting mechanisms of forest hydraulic manipulators with energy recovery/ P.I. Popikov, A.V.Konyukhov, S.K.Popikov, A.V. Popikova//In the collection: energy efficiency and energy conservation in modern production and society. materials of the international scientific and practical conference. Voronezh, 2022. pp. 105-110.
4. Layout analysis of a promising Hybrid forwarder with motor Wheels Fedchenko V.B. Candidate of Technical Sciences Associate Professor Khakimov E.F. Master's student of the

Siberian State University of Science and Technology named after M. F. Reshetnev // Collection of articles XLV International Scientific and Practical Conference.

5. Chetverikova I.V., Zimarin S.V., Burdykin A.V. On the issue of improving the hydraulic drive of a shockless skidding gripper // Improving the efficiency of the forest complex. Proceedings of the seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk, 2021: 197-199.