

использованию дополнительного оснащения многооперационных лесозаготовительных машин; порядок выполнения работ в информационных системах управления харвестеров; общие требования к технологиям рубок леса; технологические процессы рубок главного пользования в разрезе сплошных и несплошных рубок; технологические процессы прочисток, прореживаний и проходных рубок; технологические процессы разработки ветровальных и буреломных лесосек; последовательность, способы и приемы выполнения операций; требования к безопасности при разработке лесосек. В дополнительных приложениях ТКП изложены технологические схемы разработки лесосек и даны рекомендации по использованию машинных комплексов для их реализации.

Список источников

1. Голякевич, С. А. Методика прогнозирования эффективности комплексов лесозаготовительных машин / С. А. Голякевич, А. Р. Гороновский, В. А. Коробкин // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2024. – № 1(276). – С. 125-131. – DOI 10.52065/2519-402X-2024-276-17.

2. Голякевич, С. А. Анализ и перспективы использования лесозаготовительной техники в природно-производственных условиях Республики Беларусь / С. А. Голякевич // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 2(246). – С. 188-195. – DOI 10.52065/2519-402X-2021-246-23-188-195.

УДК 630*36:621.9

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ В МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

С.А. Голякевич¹, А.В. Акулич²

¹ Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский государственный технологический университет, gsa@belstu.by

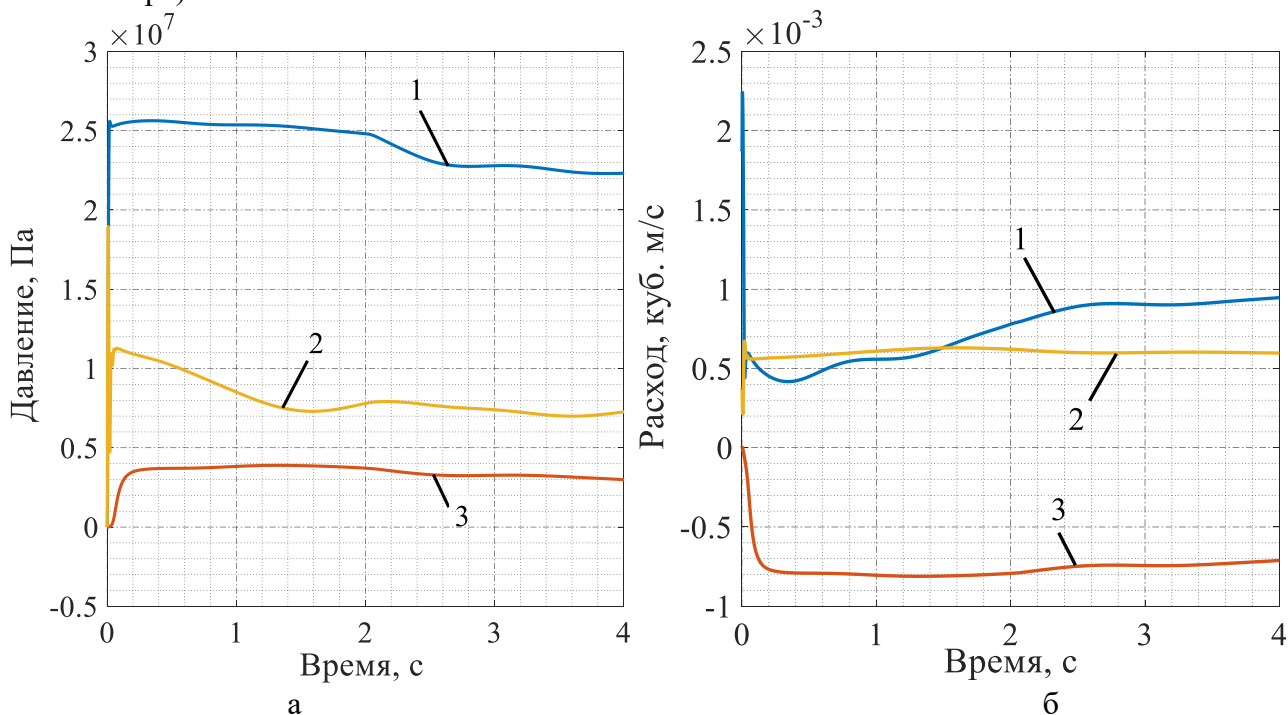
² Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский государственный технологический университет, akulichworkmail@gmail.com

Аннотация: В статье кратко изложены преимущества систем управления гидравлическими приводами в многооперационных лесозаготовительных машинах. Рассмотрены перспективные направления их развития. Отмечено, что значительного повышения энергоэффективности можно достичь за счет применения многоконтурных систем с отдельными источниками гидравлической энергии для каждого потребителя или отдельных групп потребителей, гибридных электро-гидравлических приводов в последовательном, параллельном и комбинированном исполнении, а также за счет систем с рекуперированием энергии в гидро-механические и электрические рекуператоры. Предложены общие схемы таких приводов. Показаны возможные источники энергии рекуперации и дана оценка потенциалу их использования.

Силовой гидравлический привод большинства многооперационных лесозаготовительных машин (харвестеров и форвардеров) представляет собой систему, состоящую в общем виде из гидравлического бака, управляемого гидравлического насоса, гидравлических линий, гидрораспределительных секций, потребителей гидравлической

энергии вращательного (гидромоторы) и поступательного (гидроцилиндры) действия с соответствующей «обвязкой». Автоматизированное управление гидронасосом осуществляется, как правило, по средством отдельной гидравлической линии. В ней фиксируется наибольшее из давлений нагрузок в задействованных потребителях P_1 . Оно сравнивается с давлением нагнетаемым гидравлическим насосом P_0 . В зависимости от соотношения давлений P_0 и P_1 происходит регулирование подачи гидронасоса. Такой способ управления принято именовать «управлением по нагрузке» (*Load Sensing*). В гидравлических системах с одновременным задействованием только одного потребителя это позволяет добиться подачи Q_0 и давления P_0 , близких к запрашиваемым на потребителе (Q_1 и P_1), что обеспечивает высокий КПД управления (до 92%). Однако в многооперационных лесозаготовительных машинах одновременно может быть задействовано до 4–5 гидравлических потребителей. Они заметно отличаются по показателям расхода и реализуемого давления. Система, имеющая управление по нагрузке, обеспечивает максимальное из давлений потребителей и совокупный расход, что приводит к падению эффективности в сравнении с раздельным приводом каждого потребителя.

В качестве примера на рис. 1 а, б показано изменение показателей давления и расхода в полостях сжатия гидроцилиндров стрелы, рукояти и телескопического звена при их совместном использовании на операции погрузки при массе пачки 395 кг и пропорциональном относительном открытий секций 1:1:0,6 соответственно. Заметна значительная разница между рабочими давлениями гидроцилиндров стрелы и телескопа (14 – 18 МПа). Как отмечалось ранее, в системах управления по нагрузке (*LS*) это приводит к необходимости обеспечения насосом большего из давлений и совокупного гидравлического расхода, что требует мощности привода от 28,3 кВт до 33,2 кВт (рис. 1 в, поз. 4). В случае раздельного привода этот показатель равен сумме мощностей, потребляемых отдельно каждым гидроцилиндром, и составляет 16,7 – 25,5 кВт (рис. 1 в, поз. 5). Т.е. КПД *LS*-управления приводом сразу двух гидроцилиндров составляет 59,1 – 76,8% относительно привода с раздельными источниками энергии (без учета иных потерь).



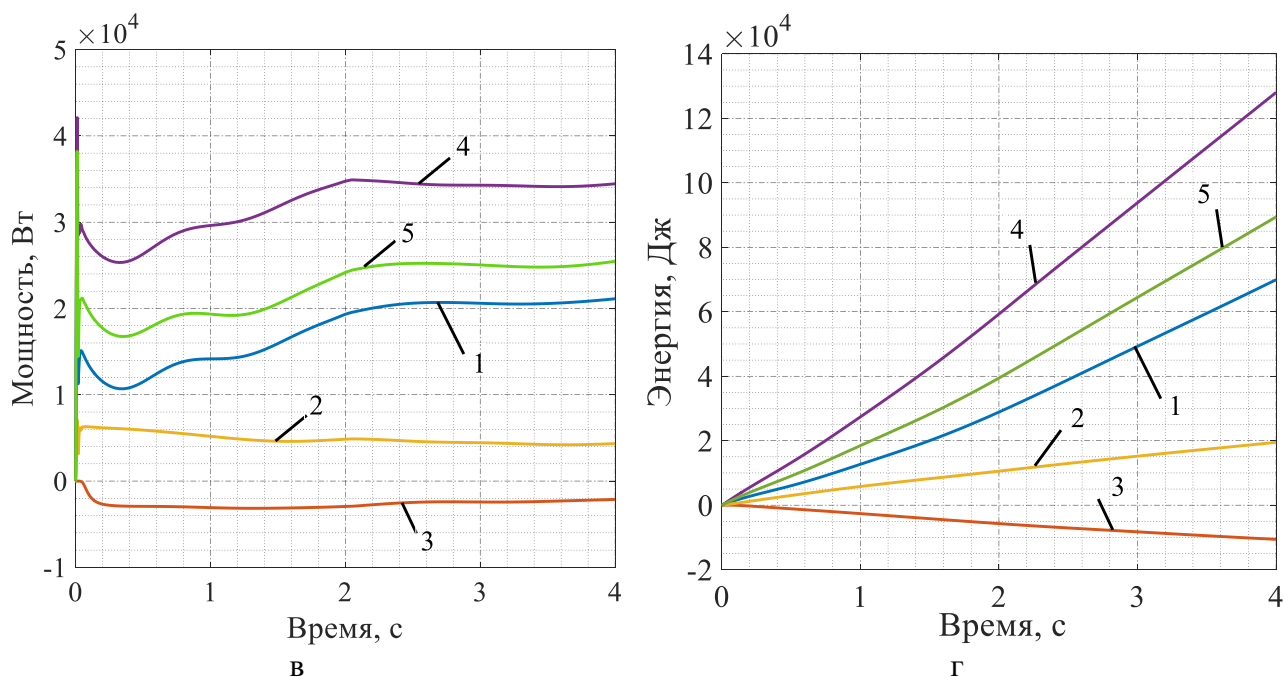


Рисунок 1 – Показатели давления (а), расхода (б) гидравлической жидкости, мощности (в) и реализованной энергии (г) на стороне сжатия гидроцилиндров для случая совместного их использования при погрузке лесоматериалов массой 395 кг:

- 1 – Гидроцилиндр стрелы; 2 – Гидроцилиндр телескопического звена;
 3 – Гидроцилиндр рукояти 4 – Мощность; 5 – Энергия

Общая энергия, потребленная приводом при с *LS*-управлении за время рабочего хода 4 с составляет 127,6 кДж (рис. 1 г, поз. 4), а при раздельном управлении 89,7 кДж (рис. 1 г, поз. 5). Средний КПД привода за время проведения операции составляет около 70%. Столь низкий показатель даже при работе двух потребителей создает предпосылки к созданию силовых гидравлических приводов с раздельными источниками энергии для каждого потребителя или объединения их в группы в соответствии с нагруженностью по давлению.

Обратим внимание на характеристики работы гидроцилиндра рукояти (рис. 1, поз. 3). Избыточное давление в штоковой полости вызвано дросселированием гидравлической жидкости, цель которого – снизить скорость опускания рукояти под собственным весом. То, что гидравлическая жидкость вытекает в магистраль слива отражено отрицательной величиной расхода (рис. 1 б, поз. 3). При этом мощность дросселирования составляет до 2,7 кВт. За время совершения рассмотренной погрузочной операции выделяется до 9,5 кДж энергии, которая имеет потенциал рекуперации. Мощность дросселирования в гидроцилиндре стрелы существенно больше и достигает 7,5 – 9,0 кВт при опускании порожнего манипулятора и 12,3 – 13,6 – при полностью груженом. Совокупный потенциал рекуперации достигает 67 кДж, что составляет до 52 % энергии, потребляемой при грузовой работе за аналогичный промежуток времени.

Возможно несколько путей реализации силовых приводов, оснащенных рекуператорами энергии: с гидравлическими и с электрическими рекуператорами (рис. 2).

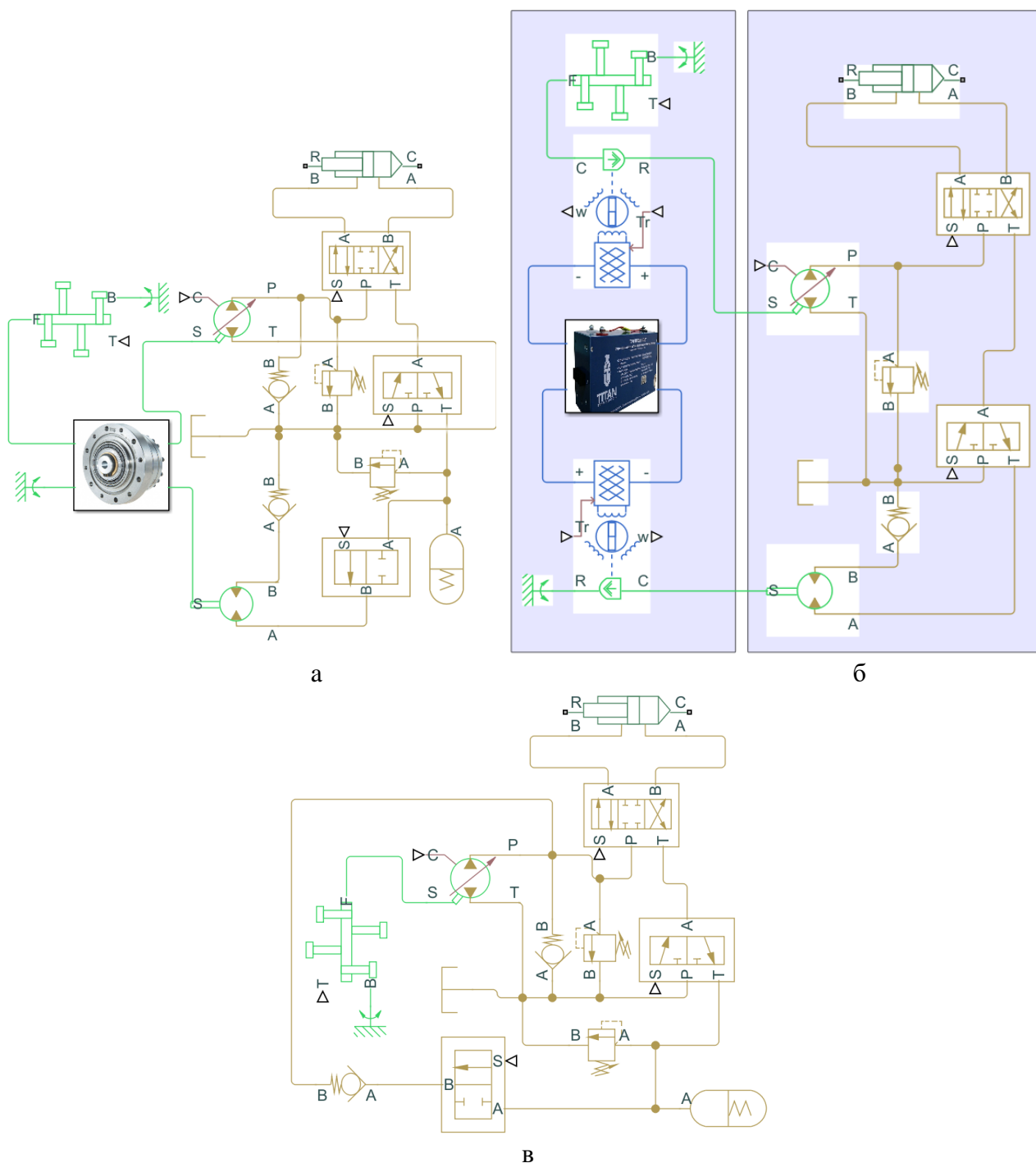


Рисунок 2 – Принципиальные схемы силовых приводов с возможностью рекуперации-восстановления энергии при опускании стрелы манипулятора: а, гидро-механический привод; б – гибридный электрогидравлический привод; в – гидравлический привод

При гидро-механической рекуперации простейший привод состоит из базового источника энергии 1, гидронасоса 2, секции основного гидрораспределителя 3, гидроцилиндра стрелы 4, дополнительных распределителей потоков 5, 8, предохранительных клапанов 6, гидроаккумулятора 7, гидромотора 9, обратного клапана 10, механического делителя мощности 11 и гидравлического бака 12. В случае применения электрогидравлического варианта система дополняется генератором 13, аккумулятором электрической энергии 14 и электромотором 15. Выделение энергии на погрузочных операциях происходит, как правило, за время до 8 с, поэтому в качестве электрического аккумулирующего устройства 14 целесообразно использовать суперконденсаторы.

Подробнее опишем вариант рис. 2 а. Для подъема стрелы манипулятора гидравлический поток, создаваемый источником энергии 1 и гидронасосом 2, направляется гидрораспределителем 3 в полость (А) гидроцилиндра. Из полости В гидравлическая жидкость поступает на дополнительный распределитель 5 который в данном случае установлен в левое, что позволяет направить поток непосредственно в бак 12. На данном режиме работы рекуператор энергии не задействуется. В случае опускания стрелы, гидравлическая жидкость в полость (В) гидроцилиндра всасывается непосредственно из бака 12 через обратный клапан 10. Секция дополнительного гидрораспределителя 5 переводится в правое положение, что позволяет направлять гидравлический поток из полости (А) гидроцилиндра к гидроаккумулятору 7. Гидрораспределитель 8 закрыт и до достижения предельного давления открытия клапана 6 происходит накопление энергии в гидроаккумуляторе. В случае открытия клапана 6 гидравлический поток направляется в бак.

При необходимости задействования дополнительной энергии распределитель 8 открывается и поток гидравлической жидкости из гидроаккумулятора через распределитель 8 передается на делитель мощности 11 либо, в случае (рис. 2 в), непосредственно в гидросистему. Такой подход позволяет непродолжительный период времени поддерживать повышенное давление в системе что важно в моменты задействования сразу нескольких потребителей.

Схема, изображенная на рис. 2 б отличается от рассмотренных использованием в качестве накопителя энергии суперконденсатора. Порядок использования системы в различных режимах близок к рассмотренным. Отличие заключается в том, что энергия вытесняемой из гидроцилиндра жидкости при опускании стрелы манипулятора направляется непосредственно на гидромотор 9 на выходном валу которого располагается генератор 13 вырабатывающий электрический ток для суперконденсатора 14. Потребление накопленной энергии осуществляется задействованием электромотора 15. Дополнительным достоинством такой схемы является возможность использования электромотора в качестве генератора электрической энергии. При малом потреблении мощности приводом это позволяет дополнительно заряжать суперконденсатор. Такой подход позволяет устанавливать дизельный двигатель значительно меньшей мощности, а возникающий недостаток энергии, возникающий, как правило, на режимах разгона, компенсировать приводом электродвигателя. Существенный недостаток системы – длинная цепочка преобразований энергии по циклу «механическая-гидравлическая-электрическая», что ведет к существенному снижению КПД и должно быть исследовано отдельно [1].

Список источников

1. Голякевич, С. А. Моделирование электросилового привода малогабаритного лесохозяйственного трактора / С. А. Голякевич, А. Р. Гороновский, С. Н. Пищов // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн : материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 12 2022 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2022. – С. 23-26