DOI: 10.34220/ITRT2021_19-24

УДК 629.33.027.3

Посметьев В.И.

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры производства,
ремонта и эксплуатации машин
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, РФ

Никонов В.О.

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры производства, ремонта
и эксплуатации машин ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

Посметьев В.В.

кандидат физико-математических
наук, доцент кафедры механизации
лесного хозяйства и проектирования
машин ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, РФ

Матяшов А.Е.

аспирант кафедры производства,
ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ
ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

Posmetev V.I.

dr. sci. tech. prof., prof. of department
of production, repair and operation of
cars Federal State Budget Educational
Institution of Higher Education "Voronezh
State University of Forestry and
Technologies named after
G.F. Morozov", Voronezh, RF

Nikonov V.O.

Ph. D., associate professor of production,
repair and operation of cars Federal State
Budget Educational Institution of Higher
Education "Voronezh State University
of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov", Voronezh, RF

Posmetev V.V.

candidate of physical and mathematical
sciences, associate professor of the
Department of Mechanization of Forestry
and Machine Design, FSBOU VO
"Voronezh State Forestry University
named after G.F. Morozov,"
Voronezh, RF

Matyashov A.E.

post-graduate student of the Department
of Production, Repair and Operation of
Machines, Voronezh State Forestry
University named after G.F. Morozov ",
Voronezh, RF

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЕГУПЕРАТИВНОГО ГИДРОПРИВОДА ЛЕСОВОЗНОГО ТЯГАЧА С ПРИЦЕПОМ-РОСПУСКОМ

ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF THE REGENERATIVE HYDRAULIC DRIVE FORESTRY TRACTOR WITH DISCOVER TRAILER

Ключевые слова: лесовозный тягач, прицеп-ропуск, кониковое устройство, рекуперативный гидропривод, энергия сжатого газа, рабочая жидкость, имитационное моделирование.

Аннотация: обосновано актуальное направление повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта, заключающееся в разработке и использовании в его

конструкции рекуперативных механизмов, основанных на различных способах преобразования и аккумуляции энергии сжатого газа. Предложен перспективный рекуперативный гидропривод лесовозного тягача с прицепом-ропуском. Проведена на основе компьютерного моделирования предварительная оценка работы механизма преобразования энергии рабочей жидкости в энергию сжатого газа.

Keywords: timber tractor, dismantling trailer, conical device, recuperative hydraulic drive, compressed gas energy, working fluid, simulation.

Annotation: substantiated the actual direction of increasing the efficiency of timber road transport, which consists in the development and use in its design of recuperative mechanisms based on various methods of conversion and accumulation of compressed gas energy. A promising recuperative hydraulic drive of a timber tractor with a dismantling trailer has been proposed. A preliminary assessment of the operation of the mechanism for converting the energy of the working fluid into the energy of compressed gas has been carried out on the basis of simulation.

Лесной комплекс Российской Федерации, включающий в своей структуре сырьевой, добывающий и перерабатывающий блоки, занимает существенное место в экономике страны. Лесопродукция остается одним из важнейших сырьевых экспортных товаров. Процесс вывозки лесоматериалов, являющийся одним из важных элементов лесозаготовительного процесса во многом определяет эффективность работы лесозаготовительных предприятий, а также варианты их связей с потребителями древесины. В современных условиях улучшение процессов вывозки лесоматериалов и повышение их эффективности во многом зависит от применяемых технологий, а также от конструктивного совершенства лесовозных автопоездов и их гидравлического технологического оборудования. Повышение эффективности работы гидравлического технологического оборудования лесовозных автопоездов в процессе вывозки лесоматериалов связано с необходимостью снижения энергетических потерь в их гидроприводах, возникающих при их функционировании. Перспективным направлением снижения энергетических потерь в гидравлическом технологическом оборудовании лесовозных автопоездов является рекуперация энергии сжатого газа, включающая в себя процессы аккумуляции, преобразования и последующего полезного использования этой энергии [1].

Анализ работ, связанных с рекуперацией энергии сжатого газа в гидравлическом технологическом оборудовании транспортных машин, позволил выявить, что в настоящее время еще не разработаны удовлетворяющие требованиям гидроприводы для лесовозных тягачей с прицепами-ропусками, позволяющие аккумулялировать, преобразовывать и полезно использовать энергию сжатого газа в процессах движения, торможения автопоезда, а также погрузки и разгрузки лесоматериалов гидравлическим манипулятором. С учетом этого, авторами в данной статье предложена перспективная схема рекуперативного гидропривода, предназначенного для лесовозного тягача с прицепом-ропуском (рис. 1). Осна-

a

б

а – общий вид лесовозного автопоезда, оснащенного рекуперативными механизмами;
 б – предлагаемый гидропривод; 1, 2, 3 – рекуперативные механизмы стрелы, рукояти и опорно-поворотного устройства гидроманипулятора соответственно; 4 – рекуперативные механизмы гидромоторов колес; 5 – рекуперативные механизмы подвесок; 6 – рекуперативный механизм коникового устройства; 7, 8 – механизмы преобразования и аккумуляции энергии; 9 – гидравлический насосный агрегат

Рисунок 1 – Рекуперативный гидропривод лесовозного тягача с прицепом-ропуском

V_{n1} и V_{n2} — поршневых
полостей пневмоцилиндров;
 V_a — полости ресивера

Рисунок 2 — Зависимость от времени объема V_k рассматриваемых пневматических полостей

щение таким гидроприводом лесовозного автопоезда дает возможность за счет рекуперации энергии значительно уменьшить нагрузку на гидравлический насосный агрегат в процессе его функционирования, и, следовательно, сократить расход топлива двигателем такого лесовозного автопоезда. Снижение расхода топлива обеспечивается путем преобразования на первом этапе энергии рабочей жидкости, получаемой от рекуперативных механизмов, установленных на лесовозном тягаче с прицепом-ропуском в энергию сжатого газа, последующего аккумулирования на втором этапе этой энергии в ресиверах пневматического аккумуляторного агрегата и дальнейшего полезного использования на третьем этапе после повтор-

ного преобразования в гидравлическом насосном агрегате этой энергии для функционирования лесовозного автопоезда, как при его движении, так и в процессе погрузки и разгрузки лесоматериалов гидравлическим манипулятором [2-5].

Для предварительной оценки эффективности механизмов преобразования и аккумулирования рассматриваемых видов энергии в разработанной ранее программе для ЭВМ выполнены несколько серий компьютерных экспериментов [6].

В ходе этих экспериментов были исследованы два режима работы механизмов преобразования и аккумулирования энергии сжатого газа. В первом режиме производилось накопление энергии сжатого газа в ресивере при отключенном пневмомоторе ($Q_m = 0$) для последующего возвращения энергии в гидросистему. Во втором режиме производилось непрерывное преобразование энергии, при этом пневмомотор был подключен к ресиверу и обеспечивал постоянный расход сжатого газа из ресивера. Компьютерные эксперименты для данных режимов проводились с наиболее типичным набором конструктивных и технологических параметров пневмосистемы. Диаметр пневматических цилиндров составлял 0,3 м, поршни двигались с амплитудой 0,2 м и частотой 0,2 Гц. Объем ресивера составлял 0,02 м³. Объемы пневмоцилиндров колебались в противофазе по гармоническому закону (рис. 2).

По мере работы механизмов преобразования и аккумулирования энергии сжатого газа содержание количество вещества v в пневмоцилиндрах изменялось по законам, близким с периодическими законами, однако с существенным отклонением от синусоидальной формы (рис. 3, а, б). В режиме накопления количество вещества в ресивере постепенно увеличивалось по ступенчатому закону (рис. 3, а). В данном режиме выполнялось постепенное заполнение сжатым газом исследуемого ресивера. При достаточно большом диаметре пневмоцилиндров заполнение ресивера сжатым газом до значения давления 1,5 МПа осуществлялось практически по линейному закону со скоростью около 0,3 моль/с. В режиме же расходования количество вещества в ресивере колебалось вблизи уровня 1,5 моль (рис. 3, б). Преимуществом режима непрерывного расходования являются относительно низкие тре-

Рисунок 3 – Зависимости от времени количества вещества V_K (а, б), давления P_K (в, г) и температуры T_K (д, е) в пневматических полостях в режимах накопления и расходования энергии сжатого газа

бования к системе хранения сжатого газа, в частности, достаточно ресивера небольшого объема. С течением времени амплитуда пульсаций давления в пневмоцилиндрах $P_{ин}(t)$ в режиме накопления постепенно возрастала (рис. 3, в). Это возрастание было связано с необходимостью увеличения давления сжатого газа при каждом дальнейшем ходе поршня, обеспечивающего выталкивание новой порции сжатого газа в постепенно заполняющийся ресивер. За счет установленных обратных пневматических клапанов давление сжатого газа в ресивере возрастало ступенчатым образом, и на фронте и максимуме пиков давления в полостях пневмоцилиндров и ресивере практически совпадало (рис. 3, в). После трех ходов одного и другого пневмоцилиндров давление достигало значительной величины около 2,3 МПа. После каждого поступления порции газа в ресивер происходило охлаждение газа, в связи с чем, значение давления после очередного ступенчатого скачка незначительно уменьшалось до момента поступления в ресивер новой порции сжатого газа. В режиме непрерывного расходования сжатого газа пульсации давления не превышали 0,4 МПа (рис. 3, г), что более чем в 5 раз меньше, чем в режиме накопления, поэтому при работе в режиме непрерывного расходования могут использоваться элементы пневмосистемы, рассчитанные на относительно низкие давления.

При высокой интенсивности процесса сжатия газа прослеживались заметные колебания его температуры (рис. 3, д, е). Как в режиме накопления, так и непрерывного расходования, пиковые температуры газа в пневмоцилиндрах

довольно велики, превышали 1000 К, при этом средняя температура газа составляла около 200-300 °С. Режим накопления оказывается менее благоприятным с точки зрения термической нагруженности: пиковые значения температуры достигают 1300 К, в то время как в режиме расходования – около 1100 К.

Таким образом, предварительная оценка эффективности механизмов преобразования и аккумуляции энергии сжатого газа в процессе погрузки, разгрузки и вывозки лесоматериалов лесовозным автопоездом, показала, что заполнение сжатым газом ресивера объемом 20 л до давления 1,5 МПа осуществляется за 17 с. Значение теплового КПД за данный промежуток времени, характеризующее тепловые потери, как в ресивере, так и в пневмоцилиндре, составило $\eta = 89 \%$, что является существенно высоким показателем для аналогичных механизмов преобразования и аккумуляции энергии сжатого газа. Повышение данного теплового КПД можно достичь путем увеличения частоты движения поршней пневмоцилиндров, а также за счет применения пневмоцилиндров увеличенного диаметра. Режим непрерывного расходования более предпочтителен, чем режим накопления, из-за возможности использовать ресивер меньшего объема, примерно в 5 раз меньшего давления в пневмосистеме, примерно на 20 % меньшей термической нагруженности.

Список литературы

1. Никонов, В. О. Современное состояние, проблемы и пути повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта / В. О. Никонов ; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2021. – 202 с.
2. Посметьев, В. И. Результаты компьютерного моделирования функционирования пневматической подсистемы рекуперативного гидропривода лесовозного тягача с полуприцепом / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, В. А. Зеликов // Лесотехнический журнал. – 2020. – № 1 – С. 233-243.
3. Никонов, В. О. Анализ состояния и оценка целесообразности использования сжатого воздуха как накопителя энергии в рекуперативных системах транспортных машин / В. О. Никонов, В. И. Посметьев // Воронежский научно-технический вестник. – 2017. – Т. 3, № 3 (21). – С. 30-48.
4. Патент на изобретение № 2725349 РФ, МПК F04B 35/02. Устройство для сжатия газа в цилиндрах двухстороннего действия с гидравлическим управлением / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г. Ф. Морозова. – № 2019142036 ; заявл. 16.12.2019 ; опубл. 02.07.2020.
5. Патент на изобретение № 2695165 РФ, МПК F15B 1/024, F15B 21/14, F15B 11/0725. Устройство для аккумуляции сжатого воздуха / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ имени Г. Ф. Морозова. – № 2018102618 ; заявл. 23.01.2018 ; опубл. 22.07.2019.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для моделирования пневматической энергосберегающей системы лесовозного тягача с полуприцепом / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; правообладатель Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова. – № 2020661531 ; заявл. 15.09.2020 ; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 24.09.2020.