

УДК 629.1.02

**В.Б. ДЕРЖАНСКИЙ**, д-р техн. наук, проф.заведующий кафедрой «Гусеничные машины и прикладная механика»<sup>1</sup>E-mail: [dvb\\_47@mail.ru](mailto:dvb_47@mail.ru)**И.А. ТАРАТОРКИН**, д-р техн. наук, доц.заведующий отделом механики транспортных машин – главный научный сотрудник<sup>2</sup>E-mail: [ig\\_tar@mail.ru](mailto:ig_tar@mail.ru)**А.А. ВОЛКОВ**, канд. техн. наукдоцент кафедры «Гусеничные машины и прикладная механика»<sup>1</sup>E-mail: [al\\_volkov14@mail.ru](mailto:al_volkov14@mail.ru)<sup>1</sup>Курганский государственный университет, г. Курган, Российская Федерация<sup>2</sup>Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург,

Российская Федерация

*Поступила в редакцию 27.11.2023.*

## ДИНАМИКА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ НА ЗАТЯЖНЫХ СПУСКАХ

*В статье приводится обоснование необходимости разработки дополнительной системы управления торможением транспортной машины для ограничения скорости движения при действии скатывающих сил и для предохранения двигателя от превышения допустимых оборотов — «заброса» по оборотам. Рассмотрены варианты конструкции четырех систем, осуществляющих диссипацию кинетической энергии, и оценка эффективности их применения: в периодически включаемых фрикционах в трансмиссии; в гидрозамедлителе, содержащем ротор и статор, где кинетическая энергия переходит в тепло и рассеивается в окружающую среду; в двух комплексных гидродинамических передачах, в конструкции которых интегрированы гидротрансформатор и гидрозамедлитель. В первом варианте системы кинетическая энергия переходит в тепло при периодическом включении-выключении фрикционов трансмиссии; во втором варианте трансформация энергии осуществляется в круге циркуляции ретардера, содержащего ротор и статор; в третьем варианте в дополнительном контуре круга циркуляции рабочей жидкости гидродинамической передачи, содержащей насосное, турбинное, реакторное колеса и дополнительно введенное четвертое колесо, которое может выполнять функцию статора; в четвертом варианте насосное колесо гидротрансформатора может выполнять дополнительную функцию ротора гидрозамедлителя, а функцию статора — корпус гидродинамической передачи.*

**Ключевые слова:** анализ, динамика, система, двигатель, предохранение, обороты, эффективность

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-1-66-23-28>

**Введение.** При движении транспортной машины на пересеченной местности на затяжных спусках формируется скатывающая сила, приводящая к увеличению скорости и частоты вращения вала двигателя выше допустимой — к так называемому «забросу» по оборотам. При этом снижается безопасность движения машины, не исключена возможность разрушения кривошипно-шатунного механизма и деформация элементов газораспределительного механизма двигателя. Особенно остро эта проблема возникает в транспортных машинах, оснащенных гидромеханическими трансмиссиями. Ограничение скорости движения на спусках путем включения остановочных тормозов недостаточно эффективно, приводит к перегреву фрик-

ционных элементов тормозных механизмов, что ограничивает их ресурс.

*Цель работы* состоит в обосновании типа конструкции дополнительной системы управления торможением.

Задачи исследования:

- анализ конструкции системы диссипации кинетической энергии в работу буксования фрикционных элементов и экспериментальное исследование эффективности системы;
- выбор типа износостойких гидрозамедлителей.

**Анализ технических решений рассматриваемых задач.** Из анализа литературных данных следует, что основные технические решения рассматриваемой задачи возможны по нескольким

вариантам. Наибольшие успехи в рекуперации энергии достигнуты в электромеханических трансмиссиях. В современных транспортных машинах, оснащенных гидромеханическими трансмиссиями, торможение на спуске осуществляется по следующим вариантам:

- создание систем периодического выключения-включения фрикционных элементов энергосилового блока в процессе спуска машины;
- введение в конструкцию энергосилового блока износостойкого ретардера — гидрозамедлителя;
- разработка гидродинамической передачи, интегрирующей свойства гидротрансформатора и гидрозамедлителя.

Сравнительный анализ эффективности перечисленных вариантов приводится ниже.

**Анализ эффективности системы периодического выключения-включения фрикционных элементов энергосилового блока в процессе торможения машины, движущейся на спуске.** Такая система реализована в конструкциях транспортных машин ТМ-140 [1–3]. При этом диссипация энергии буксования фрикционов обеспечивает торможение двигателя. В конструкцию энергосилового блока ТМ-140 и ряда других машин для реализации данной функции на спусках без использования остановочных тормозов разработана автоматическая система, обеспечивающая безопасность движения и исключение «заброса» двигателя по оборотам. Эта система позволяет за счет диссипации энергии буксующих фрикционов регулировать скорость движения машины на спуске. В реализованную систему входят датчик частоты вращения турбинного колеса, устройство сравнения с допустимой угловой скоростью двигателя, а также электромагнитный клапан управления золотниковой коробкой, т. е. фрикционами коробки передач и блокировки ГТ. Кроме того, в систему входит модулятор давления рабочей жидкости в бустерах управления переключением передач трансмиссии и блокировки гидротрансформатора. Эта система автоматически обеспечивает периодическое включение и выключение фрикционных элементов. Энергия буксующих фрикционов, а также скольжение турбинного колеса относительно насосного, затраты энергии на функционирование движителя обеспечивают ограничение ускорения при движении на спуске. Расчетная схема и математическая модель, описывающая динамику системы, приведены на рисунке 1.

Математическая модель системы описывается

$$\text{дифференциальным уравнением } J_i \cdot \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_{i=1}^3 M_i,$$

кинетическая энергия системы  $A_i = \int_0^t M_i \cdot \Delta\omega_i \cdot dt$  — работа сил трения во фрикционах.

Результаты экспериментального исследования динамики движения транспортной машины с указанной системой приведены ниже.

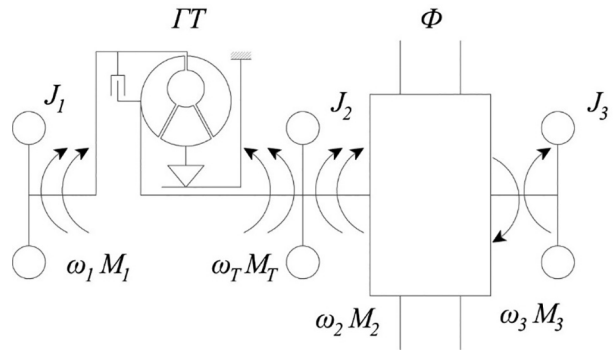


Рисунок 1 — Динамическая схема системы  
Figure 1 — System dynamic scheme

На рисунках 2, 3 показан процесс изменения параметров энергосилового блока при преодолении спуска ( $\alpha = 26^\circ$ ), спуск начинался при движении на III и II передачах. В процессе движения на III передаче на спуске (см. рисунок 2) педаль подачи топлива находилась в положении минимальной и частичной подачи, частота вращения вала двигателя устанавливалась 1200 об/мин [2, 3]. При движении отмечено резкое возрастание частоты вращения вала двигателя до максимальных оборотов и срабатывание системы защиты двигателя (срабатывание клапана слива). При этом наблюдалось автоматическое переключение передач «вниз» и «вверх», сопровождающееся циклическим увеличением оборотов двигателя с последующим срабатыванием системы защиты двигателя. В этом случае движение сопровождается значительными динамическими перегрузками силового блока и рывками машины [2, 3].

При преодолении спуска на II передаче (см. рисунок 3) водитель перевел педаль подачи топлива в положение, близкое к положению минимальной подачи. При этих условиях также происходит резкое увеличение частоты вращения вала двигателя и периодическое срабатывание системы защиты двигателя от заброса по оборотам, что сопровождалось периодическими разрывами потока мощности от двигателя до ведущих колес, резкими изменениями частоты вращения вала двигателя, периодическим блокированием и разблокированием ГТ. Это вызывает значительные рывки машины [2, 3]. При первом срабатывании системы защиты

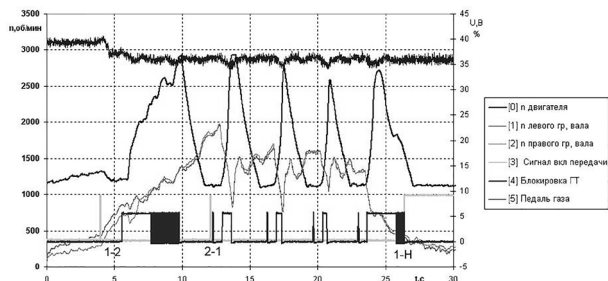


Рисунок 2 — Изменение параметров при спуске с горы на III передаче ( $\alpha = 26^\circ$ )  
Figure 2 — Change in parameters during descent from the mountain in the third gear ( $\alpha = 26^\circ$ )

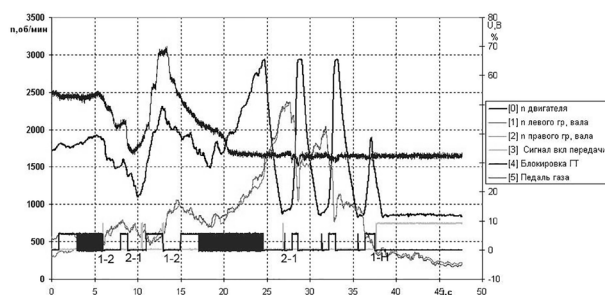


Рисунок 3 — Изменение параметров при спуске с горы на II передаче ( $\alpha = 26^\circ$ )

Figure 3 — Change in parameters during descent from the mountain in the second gear ( $\alpha = 26^\circ$ )

частота вращения вала двигателя резко снижается и происходит автоматическое переключение на пониженную I передачу в процессе движения под уклон. Следует отметить, что автоматический переход со II на I передачу, имевший место при срабатывании системы защиты двигателя, приводит к увеличению тормозного момента двигателя, передаваемого на ведущие колеса. В данных условиях происходит снижение скорости машины на спуске, однако переключение происходит с высокой цикличностью и уровнем динамических нагрузок. Таким образом, при движении на спусках следует исключить возможность переключения на высшие передачи.

Для мониторинга признака движения на спуске в систему необходимо ввести датчик угла отклонения корпуса машины от горизонтали. В зависимости от требуемого замедления управление поступательной скоростью является многовариантным и приведено ниже.

При торможении транспортной машины с ГМТ двигателем без использования остановочных тормозов ГТ работает в режиме обгона турбиной насосного колеса ( $i_{ГТ} > 1$ ). Несмотря на многочисленные предложения, направленные на повышение момента, развиваемого турбиной в этом режиме, его значение гораздо ниже, чем в тяговом, а конструкция значительно усложняется. В связи с этим скорость движения с ограниченным замедлением эффективно управляется дополнительно вводимым гидрозамедлителем. При его отсутствии торможение двигателем можно осуществить при заблокированном ГТ. Признаком необходимости снижения скорости является уменьшение подачи топлива или перемещения педали торможения. При переходе на пониженный скоростной режим снижение скорости осуществляется за счет изменения режима работы двигателя. Если заданную скорость невозможно обеспечить изменением только лишь частоты вращения двигателя, необходимо перейти на пониженную передачу.

Из приведенных данных следует, что рассматриваемая система выполняет требуемую функцию, однако движение транспортной машины на спуске сопровождается высокой динамической

нагруженностью энергосилового блока, увеличением цикличности переключения передач и блокировки гидротрансформатора. Кроме того, периодическое выключение элементов управления ограничивает ресурс фрикционных дисков.

**Анализ эффективности износостойкой системы.** Для исключения приведенных недостатков системы защиты двигателя от заброса по оборотам, в частности обеспечение требуемого ресурса элементов, целесообразно рассмотреть введение в конструкцию так называемой «износостойкой» системы в виде гидрозамедлителя (ретардера). Такое решение исследовано в работах [4–10], а также реализовано во многих трансмиссиях ZF [11] и Voith [12]. Основным элементом ретардера является лопастной гидротормоз, представляющий собой гидромуфту, функционирующую в «стоповом» режиме. Ротор замедлителя приводится в движение от трансмиссии, а статор жестко соединен с корпусом трансмиссии. Кинетическая энергия движения машины гидрозамедлителем переводится в тепловую энергию рабочей жидкости и отводится через систему охлаждения.

Управление тормозным моментом осуществляется регулированием степени наполнения проточной части гидрозамедлителя. Введение в конструкцию гидромеханической трансмиссии ретардера на входе может быть эффективно реализовано при проектировании новых трансмиссий. При модернизации существующих конструкций реализация такого решения затруднена из-за плотной компоновки моторно-трансмиссионного отделения, т. к. наряду с гидрозамедлителем необходимо создать гидросистему, которая включает теплообменник, насосы, фильтры.

В зависимости от места расположения ретардера рассматриваются первичные (между двигателем и трансмиссией) и вторичные (после трансмиссии) конструкции.

При использовании первичного ретардера трансмиссия работает в более тяжелом режиме нагружения, т. к. момент, создаваемый тормозом-замедлителем, соизмерим с моментом двигателя. Это требует увеличения размеров и массы привода. Кроме того, во время переключения передач тормозной момент ретардера не может быть реализован на движителе вследствие разрыва потока мощности. В то же время в подобной конструкции удается реализовать высокое значение тормозных моментов на низких скоростях движения машины.

При применении вторичного ретардера (после трансмиссии) указанные недостатки отсутствуют, но ограничение частоты вращения вала ретардера осложняет реализацию требуемых тормозных моментов.

Введение в конструкцию гидромеханической трансмиссии ретардера на входе может быть эффективно реализовано при проектировании новых трансмиссий. При модернизации конструкций

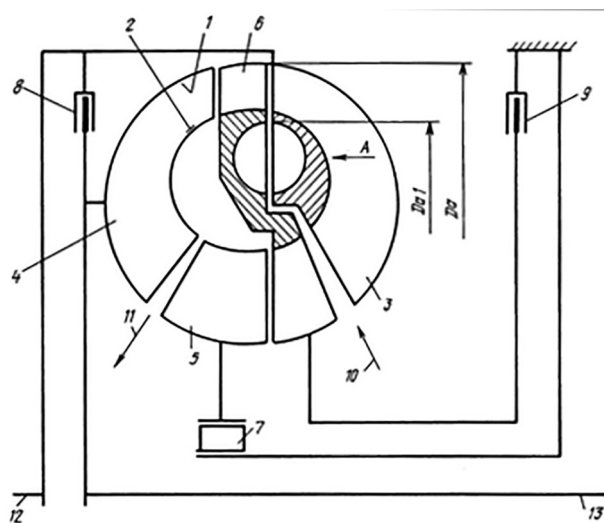


Рисунок 4 — Схема гидродинамической передачи «гидротрансформатор — гидрозамедлитель»  
Figure 4 — Scheme of hydrodynamic transmission “torque converter — hydraulic retarder”

введение гидрозамедлителя затруднено из-за плотной компоновки моторно-трансмиссионного отделения, т. к. наряду с гидрозамедлителем необходимо создать гидросистему, которая включает теплообменник, насосы, фильтры. Одним из вариантов повышения тормозного момента является включение гидромуфты системы управления поворотом в процессе торможения (Leopard, БМП Marder, Puma). Однако в отечественных энергосиловых блоках дополнительный тормозной момент создается раздельным управлением торможения.

**Анализ эффективности интегрированной гидродинамической передачи и гидрозамедлителя в одном блоке.** В этом направлении существенные опытно-конструкторские работы вы-

полнены во ВНИИТМ. При этом в конструкцию гидротрансформатора наряду с обычными тремя рабочими колесами — насосное, турбинное и реактор — вводится четвертое, выполняющее роль статора в режиме замедления машины (рисунок 4) [13–15].

Анализ показывает, что при доработке конструкции дополнительного круга циркуляции тормозная мощность может быть повышена до 2 раз по сравнению с прототипом без ухудшения тяговой характеристики.

Наряду с оригинальностью данное решение может быть реализовано в конструкциях при отсутствии существенных ограничений по объему моторно-трансмиссионного отделения. Кроме того, введение четвертого колеса существенно изменяет работу гидродинамической передачи, что снижает ее КПД и коэффициент трансформации.

Конструкция гидродинамической передачи реализована на колесном тягаче КЗКТ-7428, где наряду с трансформацией момента гидротрансформатор выполняет дополнительную роль гидрозамедлителя [15]. При этом роль ротора выполняет наружная поверхность насосного колеса, а статора — корпус гидропередачи. Кроме того, компактность такой конструкции ГДЗ, встраиваемость в ГТ, позволяет реализовать ее не только при проектировании новых трансмиссий, но и при модернизации существующих.

**Выводы.** Приведенные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Система защиты двигателя по «забросу» по оборотам, основанная на периодическом включении фрикционов, основную функцию выполняет, однако движение транспортной машины на спуске сопровождается высокой динамической нагруженностью энергосилового блока, увеличением

Таблица — Результаты анализа эффективности технических решений по совершенствованию систем управления торможением транспортных машин на спуске

Table — Results of an analysis of the effectiveness of technical solutions to improve the braking control systems of transport vehicles on a descent

Тип конструкции	Реализация, основные НИР по совершенствованию	Основные ограничения при модернизации конструкции ЭСБ
1. Система диссипации кинетической энергии в работу буксования фрикционных элементов	ТМ-130, МЛ-107	Интенсивный износ фрикционных элементов. Повышение цикличности ПП и блокировки ГТ. Повышение динамической нагруженности ЭСБ.
2. Введение гидрозамедлителя между двигателем и гидротрансформатором	Трансмиссии, ZF, Allison, Voith	Ограничение по плотности компоновки и необходимость создания системы гидроуправления.
3. Включение гидромуфты системы управления поворотом в процесс торможения	БМП Marder, Puma, Leopard	В отечественных ЭСБ дополнительный крутящий момент создается раздельным управлением торможения.
4. Создание комплексных гидродинамических передач (ГТ+ГЗ)	ВНИИ ТМ а. с. № 9227233 КЗКТ-7428 Керро В.Р. а. с. № 925687	Ограничение по плотности компоновки МТО, введение в конструкцию четвертого рабочего колеса приводит к вариации геометрических параметров круга циркуляции, снижению КПД и коэффициента трансформации. Тормозной момент достаточен при $\gamma < 20^\circ$ .

цикличности переключения передач и блокировки гидротрансформатора.

2. Для обеспечения требуемого ресурса и исключения приведенных недостатков системы защиты двигателя от заброса по оборотам, в частности обеспечение требуемого ресурса элементов, целесообразно рассмотреть введение в конструкцию так называемой «износостойкой» системы в виде гидрозамедлителя (ретардеры). Однако при модернизации ГМТ введение гидрозамедлителя затруднено из-за плотной компоновки моторно-трансмиссионного отделения (МТО).

Интегрированная гидродинамическая передача может быть реализована при отсутствии существенных ограничений по объему МТО, в частности осевого размера.

При оптимизации лопаточной системы элементов, образующих гидрозамедлитель, обеспечивающих повышение тормозного момента, и, соответственно, защиту двигателя от заброса на спусках до 35°, наиболее эффективным может быть техническое решение по авторскому свидетельству № 925687.

### Список литературы

1. Четра ТМ-140 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://kruzenwtern.livejournal.com/360527.html>. — Дата доступа: 15.08.2023.
2. Держанский, В.Б. Адаптивное управление переключением передач гидромеханической трансмиссии на основе мониторинга технического состояния и режимов функционирования / В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин // Вестн. Южно-Уральского гос. ун-та. Серия: Машиностроение. — 2005. — № 14(54). — С. 75–84.
3. Держанский, В.Б. Прогнозирование динамической нагрузки гидромеханических трансмиссий транспортных машин / В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин. — Екатеринбург: УрО РАН, 2010. — 176 с.
4. Альгин, В.Б. Ресурсная механика трансмиссий мобильных машин / В.Б. Альгин, С.Н. Поддубко. — Минск: Беларус. навука, 2019. — 550 с.
5. Hydrodynamischer Retarder: International Application PCT/EP2007/055573 / В. Reisch, F. Sauter, H. Wanninger. — Publ. date: 03.01.2008.
6. Гируцкий, О.И. Развитие конструкций и перспективы автоматических трансмиссий / О.И. Гируцкий, В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич // Наука и образование: науч. изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2014. — № 3. — С. 59–94. — DOI: <http://dx.doi.org/10.7463/0314.0702931>.
7. Гидромеханическая передача с гидродинамическим тормозом-замедлителем транспортного средства большой мощности: пат. RU 184458 U1 / Д.С. Белабенко, А.Н. Абрамов, А.С. Башарков, А.А. Сташкевич. — Оpubл. 25.10.2018.
8. Определение механических характеристик узлов износоустойчивой тормозной системы высокоподвижных колесных машин / Г.О. Котиев [и др.] // Тр. НГТУ им. П.Е. Алексеева. — 2020. — № 1(128). — С. 131–141. — DOI: [https://doi.org/10.46960/1816-210X\\_2020\\_1\\_131](https://doi.org/10.46960/1816-210X_2020_1_131).
9. Определение потребного уровня замедления высокоподвижных колесных машин при использовании износоустойчивой тормозной системы / Г.О. Котиев [и др.] // Тр. НГТУ им. П.Е. Алексеева. — 2019. — № 4(127). — С. 146–157. — DOI: [https://doi.org/10.46960/1816-210X\\_2019\\_4\\_146](https://doi.org/10.46960/1816-210X_2019_4_146).
10. Вдовин, Д.С. Численное исследование влияния параметров лопастной части на характеристики гидродинамического ретардера / Д.С. Вдовин, Б.Б. Косицын, А.А. Сидоров // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. — 2023. — № 1. — С. 17–27.
11. ZF 4HP20 AUTOMATIC TRANSMISSION [Electronic resource]. — Mode of access: [http://www.matrasport.dk/Cars/Espace/vault/IE/AUTOBOX\\_ZF4\\_HP20\\_training.pdf](http://www.matrasport.dk/Cars/Espace/vault/IE/AUTOBOX_ZF4_HP20_training.pdf). — Date of access: 30.10.2017.
12. Руководство по обслуживанию ретардера Voith VR115E [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://avtobase.com/1957-rukovodstvo-po-obsluzhivaniyu-retardera-voith-vr115e.html>. — Дата доступа: 12.05.2023.
13. Тягово-тормозная гидродинамическая передача: пат. SU 1763757 A1 / В.М. Антонов, В.И. Разжигаяев, Е.Г. Самарин, В.П. Семенов, В.Г. Кондрашов, П.А. Грымзин. — Оpubл. 23.09.1992.
14. Гидротрансформатор-гидрозамедлитель: пат. RU 2227233 С2 / М.Н. Гусев, Е.Г. Самарин, Р.Н. Корольков, К.Ю. Фишков. — Оpubл. 20.04.2004.
15. Гидродинамическая передача: пат. SU 925687 A1 / В.Р. Керро, Ю.Б. Лялин. — Оpubл. 07.05.1982.

DERZHANSKII Victor B., D. Sc. in Eng., Prof.<sup>1</sup>

Head of the Department “Tracked Vehicles and Applied Mechanics”<sup>1</sup>

E-mail: [dvb\\_47@mail.ru](mailto:dvb_47@mail.ru)

TARATORKIN Igor A., D. Sc. in Eng., Assoc. Prof.

Head of Department of Transport Machines Mechanics – Chief Researcher<sup>2</sup>

E-mail: [ig\\_tar@mail.ru](mailto:ig_tar@mail.ru)

VOLKOV Alexander A., Ph. D. in Eng.

Associate Professor of the Department “Tracked Vehicles and Applied Mechanics”<sup>1</sup>

E-mail: [al\\_volkov14@mail.ru](mailto:al_volkov14@mail.ru)

<sup>1</sup>Kurgan State University, Kurgan, Russian Federation

<sup>2</sup>Institute of Engineering Science, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

Received 27 November 2023.

## MOTION CONTROL DYNAMICS OF TRANSPORT VEHICLE ON LONG DESCENTS

*The article provides a rationale for the need to develop an additional braking control system for a transport vehicle to limit the movement speed under the action of rolling forces and to protect the engine from exceeding the permissible speed, “overshooting” the speed. Design options for four systems that dissipate*

kinetic energy are considered, and the effectiveness of their use is assessed: in periodically switched off clutches in the transmission; in a hydraulic retarder, containing a rotor and a stator, where kinetic energy turns into heat and is dissipated into the environment; in two complex hydrodynamic transmissions, the design of which integrates a torque converter and a hydraulic retarder. In the first version of the system, kinetic energy turns into heat when the transmission clutches are periodically turned on and off; in the second option, energy transformation is carried out in the retarder circulation circle containing the rotor and the stator; in the third embodiment, in an additional circuit of the circulation circle of the working fluid of a hydrodynamic transmission, containing a pump, turbine, reactor wheels and an additionally introduced fourth wheel, which can serve as the stator; in the fourth version, the pump wheel of the torque converter can perform the additional function of the hydraulic retarder rotor, and the hydrodynamic transmission housing can function as the stator.

**Keywords:** analysis, dynamics, system, engine, protection, speed, efficiency

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-1-66-23-28>

## References

1. *Chetra TM-140* [Chetra TM-140]. Available at: <https://kruzenwtern.livejournal.com/360527.html> (accessed 15 August 2023) (in Russ.).
2. Derzhanskii V.B., Taratorkin I.A. Adaptivnoe upravlenie pereklyucheniem peredach gidromekhanicheskoy transmissii na osnove monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya i rezhimov funktsionirovaniya [Adaptive control of gear shifting of hydro-mechanical transmission based on monitoring of technical condition and operating modes]. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Mechanical engineering"*, 2005, no. 14(54), pp. 75–84 (in Russ.).
3. Derzhanskii V.B., Taratorkin I.A. *Prognozirovaniye dinamicheskoy nagruzhennosti gidromekhanicheskikh transmissiy transportnykh mashin* [Forecasting the dynamic load of hydro-mechanical transmissions of transport vehicles]. Yekaterinburg, Uralskoe otdeleniye Rossiyskoy akademii nauk Publ., 2010. 176 p. (in Russ.).
4. Algin V.B., Poddubko S.N. *Resurnaya mekhanika transmissiy mobilnykh mashin* [Lifetime mechanics of mobile car transmissions]. Belorusskaya nauka Publ., 2019. 550 p. (in Russ.).
5. Reisch B., Sauter F., Wanninger H. *Hydrodynamischer Retarder*. International application, no. PCT/EP2007/055573, 2008.
6. Girutskiy O.I., Tarasik V.P., Rynkevich S.A. Razvitie konstruktsiy i perspektivy avtomaticheskikh transmissiy [The development of structures and the prospects of automatic transmissions]. *Science & education*, 2014, no. 3, pp. 59–94. DOI: <http://dx.doi.org/10.7463/0314.0702931> (in Russ.).
7. Belabenko D.S., Abramov A.N., Basharkov A.S., Stashkevich A.A. *Gidromekhanicheskaya peredacha s gidrodinamicheskimi tormozom-zamedlitem transportnogo sredstva bolshoy moshchnosti* [Hydro-mechanical transmission with hydrodynamic retarder vehicle of high power]. Patent RU, no. 184458 U1, 2018 (in Russ.).
8. Kotiev G.O., Gumerov I.F., Stadukhin A.A., Kositsyn B.B. Opredeleniye mekhanicheskikh kharakteristik uzlov iznosostoykoy tormoznoy sistemy vysokopodvizhnykh kolesnykh mashin [Determination of mechanical characteristics of wear-resistant brake system units of high-mobility wheeled machines]. *Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev*, 2020, no. 1(128), pp. 131–141. DOI: [https://doi.org/10.46960/1816-210X\\_2020\\_1\\_131](https://doi.org/10.46960/1816-210X_2020_1_131) (in Russ.).
9. Kotiev G.O., Gumerov I.F., Stadukhin A.A., Kositsyn B.B. Opredeleniye potrebnogo urovnya zamedleniya vysokopodvizhnykh kolesnykh mashin pri ispolzovanii iznosostoykoy tormoznoy sistemy [Determination of the required deceleration level of high-moving wheeled machines when using a wear-resistant braking system]. *Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev*, 2019, no. 4(127), pp. 146–157. DOI: [https://doi.org/10.46960/1816-210X\\_2019\\_4\\_146](https://doi.org/10.46960/1816-210X_2019_4_146) (in Russ.).
10. Vdovin D.S., Kositsyn B.B., Sidorov A.A. Chislennoye issledovaniye vliyaniya parametrov lopastnoy chasti na kharakteristiki gidrodinamicheskogo retardera [Numerical study of the influence of bladed part parameters on the characteristics of a hydrodynamic retarder]. *Machines and plants: design and exploiting*, 2023, no. 1, pp. 17–27 (in Russ.).
11. *ZF 4HP20 automatic transmission*. Available at: [http://www.matrasport.dk/Cars/Espace/vault/JE/AUTOBOX\\_ZF4\\_HP20\\_training.pdf](http://www.matrasport.dk/Cars/Espace/vault/JE/AUTOBOX_ZF4_HP20_training.pdf) (accessed 30 October 2017).
12. *Rukovodstvo po obsluzhivaniyu retardera Voith VR115E* [Operating manual for retarder Voith VR 115 E]. Available at: <https://avtobase.com/1957-rukovodstvo-po-obsluzhivaniyu-retardera-voith-vr115e.html> (accessed 12 May 2023) (in Russ.).
13. Antonov V.M., Razzhigaev V.I., Samarin E.G., Semenov V.P., Kondrashov V.G., Grymzin P.A. *Tyagovo-tormoznaya gidrodinamicheskaya peredacha* [Traction and braking hydrodynamic transmission]. Patent SU, no. 1763757 A1, 1992 (in Russ.).
14. Gusev M.N., Samarin E.G., Korolkov R.N., Fishkov K.Yu. *Gidrottransformator-gidrozamedlitel* [Torque converter-hydraulic retarder]. Patent RU, no. 2227233 C2, 2004 (in Russ.).
15. Kerro V.R., Lyalin Yu.B. *Gidrodinamicheskaya peredacha* [Hydrodynamic transmission]. Patent SU, no. 925687 A1, 1982 (in Russ.).