



УДК 629.114.2.075

## **ЗАВИСИМОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НОВЫХ, ЭРГОНОМИЧНЫХ РУЛЕВЫХ УПРАВЛЕНИЙ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ**

**Петров В.О., к.т.н.**

**Бондар А.М., к.т.н.**

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 43-45-94

**Аннотация** – в работе проведен анализ развития систем рулевого управления, показана перспективность электромеханических усилителей и предложен способ синтеза нетрадиционных рулевых управлений за счет их использования в качестве асинхронного сервопривода. Разработаны зависимости для различных вариантов рулевых управлений.

**Ключевые слова:** управление по положению, автопилот, электромеханический усилитель рулевого управления (ЭМУР), сервопривод, управляющий сигнал, баланс угловых скоростей.

**Постановка проблемы.** Традиционные системы рулевого управления мобильных машин достаточно просты, но способ управления объектом, который является интегратором с переменной скоростью накопления, довольно сложен и мешает водителю точно и быстро управлять направлением движения машины. Основные недостатки:

- с ростом скорости чувствительность руля линейно нарастает, ошибка слежения растет квадратично и на повышенных скоростях система работает на границе устойчивости. Попытка снизить чувствительность за счет передаточного отношения рулевого привода резко ухудшает маневренность машины;
- время реакции водителя лежит в пределах 0,3 – 0,4 сек., что обусловлено сложностью прогнозирования «поведения» интегратора.

Есть необходимость конструктивного воплощения новых концептуальных решений [1,2,3] без значительных усложнений современных систем рулевых управлений.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На данном этапе развития транспортного машиностроения ведущие мировые производители транспорта, как правило, выпускали, оборудованные гидро-



усилителями рулевого управления. Однако в последние годы гидроусилители все чаще стали заменяться электроусилителями. [1]

Электромеханический усилитель рулевого управления - совершенно новое направление в рулевом управлении автомобилей и будет являться основным при разработке и оснащении новых перспективных моделей. Появление электроусилителя устраняет необходимость в насосе гидроусилителя, шлангах, гидравлических жидкостях, приводном ремне и шкиве на двигателе. В результате рулевой привод с электрическим усилителем экономит энергию и улучшает экологию окружающей среды, в то же время, по сравнению с гидроусилителем, обладает рядом преимуществ:

- упрощенная настройка;
- адаптивность в компоновке;
- независимое от двигателя внутреннего сгорания (ДВС)

рулевое управление;

Технологичность конструкции - электроусилитель рулевого управления (ЭМУР) монтируется на автомобиле одним узлом, без вторжения в моторный отсек. В то время как гидроусилитель должен иметь насос, приводимый от двигателя через шкивы и ремень, масляные трубопроводы, что требует большой трудоемкости в производстве и эксплуатации.

Электроусилитель по сравнению с гидроусилителем позволяет экономить 3-5% топлива, так как он требует затрат энергии в основном в парковочных и низкоскоростных режимах и только в процессе вращения рулевого колеса. ЭУР позволяет регулировать величину помощи в зависимости от скорости автомобиля и скорости вращения руля, что улучшает информативность рулевого управления и тем самым повышает безопасность движения.

Стоимость электроусилителя примерно в 2 раза ниже по сравнению с гидроусилителем.

*Формирование целей статьи.* Среди электромеханических усилителей руля можно провести следующую классификацию по наличию, либо отсутствию механической связи между рулевым колесом и рулевым механизмом:

- **традиционные**, встраиваемые в рулевое управление в качестве вспомогательных механизмов (к данному типу относятся все известные на данный момент промышленно выпускаемые ЭМУР), и

- **системы «управления по проводу» (steer-by-wire)**, в составе которых отсутствует механическая связь рулевого колеса с управляемыми колесами автомобиля.

Системы «управления по проводу» в настоящий момент находятся на стадии концептуальных разработок и на потребительском рынке отсутствуют.



Актуальность нетрадиционных рулевых управлений повышающих управляемость транспортных средств показана в работе [2]:

- рулевое управление с постоянной чувствительностью (на разных скоростных режимах) [3];
- рулевое управление по положению (гибрид обычного управления с автопилотом) [4];

Использование ЭМУР в таких рулевых управлениях, требует реализацию системы «управления по проводу» (steer-by-wire).

*Основная часть.*

Конструктивно электроусилитель выполнен на основе трехфазного реактивного индукторного двигателя (РИД), имеющего за рубежом аббревиатуру SRM. Характерной особенностью такого двигателя является отсутствие обмоток на зубчатом роторе. Статорная обмотка выполнена в виде катушек, охватывающих полюса, и питается однополярными импульсами от электронного блока по сигналам датчика положения ротора. Достоинствами усилителя с РИД являются повышенная надежность, обусловленная конструктивной простотой РИД и практически отсутствием потерь мощности в роторе. Кроме двигателя, в состав электроусилителя входит многозаходный червячный редуктор и датчик момента руля, который выдает напряжение с учетом направления вращения, пропорциональное усилию на рулевом колесе.

Электроусилитель рулевого управления является составной частью системы электромеханического усилителя рулевого управления, состоящей из следующих основных компонентов:

- электромеханизма с электронным блоком управления ЭМУ (контролер);
- датчика скорости движения автомобиля;
- датчика оборотов двигателя;
- жгутов проводов системы;
- индикатора неисправности ("отказ") системы.

**Основные технические характеристики электроусилителя:**

- напряжения питания (номинальное) - 12 В;
- максимальный компенсирующий момент - 35 Нм;
- максимальный ток потребления - 50 А;
- ток потребления (усилие на рулевом колесе приложено, выходной вал усилителя заблокирован) - не более 15 А;
- масса электроусилителя вместе с рулевой колонкой - 9 кг;

Анализ конструкции ЭМУР показал, что есть техническая возможность его преобразования в асинхронный сервопривод. Для этого следует добавить дополнительный блок управления, оснащенный группой датчиков контроля режима движения и позиционирования транспортного средства, а так же автономным задатчиком управляю-

щого воздействия. Этот дополнительный надблок управления использует в своей работе сигналы датчиков серийных (рис. 3):

- крутящего момента;
- положения ротора;
- скорости транспортного средства.

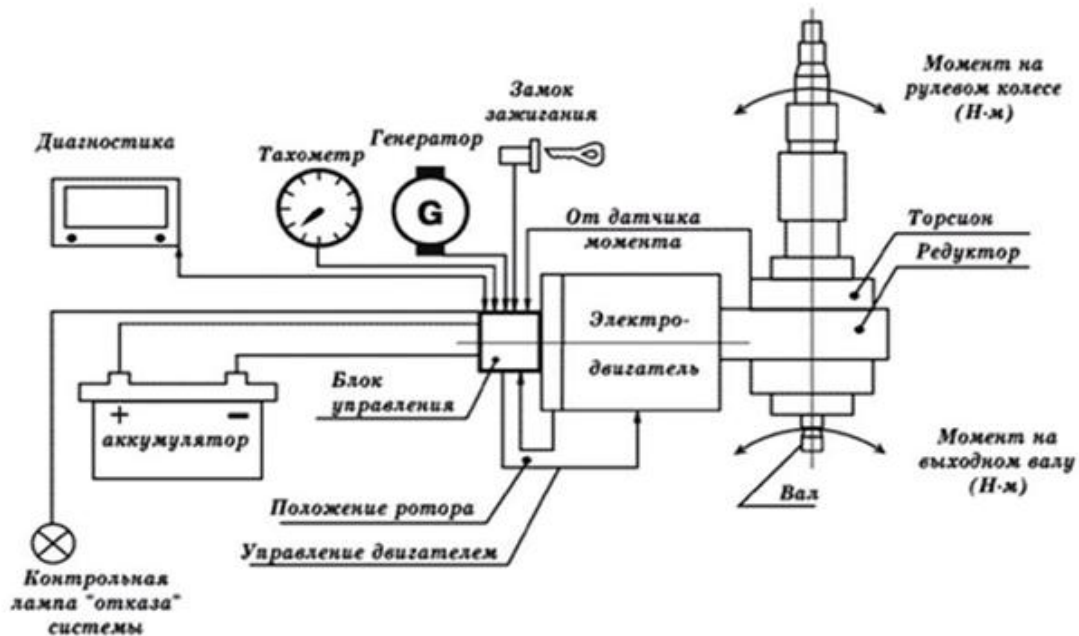


Рис. 2. Структурная схема электромеханического усилителя руля.

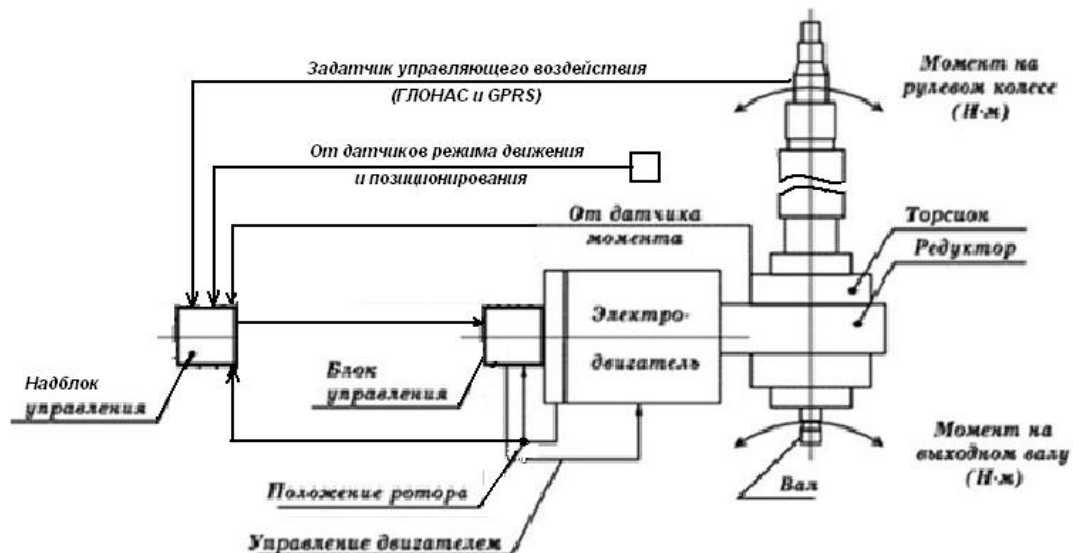


Рис. 3. Преобразованная схема сервопривода на базе ЭМУР

Рассмотрим более подробно зависимости функционирования перспективных, эргономичных рулевых управлений на базе ЭМУР в двух аспектах:

- рулевое управление с постоянной чувствительностью (на разных скоростных режимах) [3];



- рулевое управление по положению (гибрид обычного управления с автопилотом) [4];

Алгоритмы будем рассматривать в зависимости от принципа управления:

- «управление по проводу» (steer-by-wire) в случае разрыва кинематической связи между рулем и ЭМУР [7].
- тактильное управление (генерация подсказки в виде крутящего момента на рулевом колесе) [6].

Для реализации принципа «steer-by-wire» необходимо оснастить свободное рулевое колесо датчиком угловой скорости.

В устройстве рулевого управления постоянной чувствительности руля двигатель ЭМУР должен обеспечить взаимосвязь между угловой скоростью вращения рулевого колеса и угловой скорости поворота рулевой сошки с переменным передаточным отношением ( $W_{rp}$ ). При этом передаточное отношение увеличивается с ростом скорости транспортного средства [7]. Приведенное значение передаточного отношения можно з

$$W' = W \left( 1 + \frac{V}{V_0} \right) \tag{1}$$

- где  $W'$  - приведенное передаточного отношения (var);  
 $W$  – штатное значение передаточного отношения (const);  
 $V$  – текущая скорость транспортного средства, км/ч;  
 $V_0$  – предельная скорость маневрирования, км/ч.

В устройстве рулевого управления по положению двигатель ЭМУР должен динамически поддерживать баланс между угловой скоростью поворота рулевой сошки и угловой скоростью поворота кузова транспортного средства (гироскоп). А с датчика рулевого колеса задается новое положение управляемых колес. При отсутствии управляющего воздействия на рулевое колесо система рулевого управления обеспечивает следование кузова транспортного средства за управляемыми колесами подобно прицепу (направление управляемых колес остается постоянным). Баланс выглядит следующим образом:

$$\omega_{сошки} = \omega_{остова} \tag{2}$$

где  $\omega_{сошки}$  - угловая скорость поворота рулевой сошки относительно кузова, с-1;

$\omega_{остова}$  - угловая скорость поворота кузова транспортного средства относительно опорной поверхности, с-1.

Для реализации новых, эргономичных рулевых управлений на базе ЭМУР, без разрыва кинематической связи используется тактиль-



ный принцип. В этом случае не требуется установка дополнительного измерительного преобразователя на рулевое колесо. Необходимая информация получается со штатного датчика положения ротора. Уравнения баланса аналогичное приведенным выше. В данном случае при работе устройства в динамическом режиме образуется крутящий момент «подсказки» на рулевом колесе.

#### *Выводы.*

1. Использование ЭМУР по схеме сервопривода, в сочетании с надсистемой управления позволит значительно улучшить управляемость транспортных средств.
2. Использование современных систем позиционирования, а также спутниковых систем ГЛОНАС и GPRS в качестве надсистем управления открывает возможность роботизации мобильных машин.

#### *Литература*

1. Электромеханический усилитель рулевого управления [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.avem.ru/production/avtoelektro/euru>
2. Петров А.В., Впровадження керування «по положенню» в конструкціях рульових управлінь мобільних машин.-Вісник Дніпропетровського Державного Аграрного Університету, 2009, спецвипуск №2-09.-С.271-273
3. Система гідрооб'ємного керування з постійною чутливістю. Пат. № 36231 Україна. Опубл.27.10.2008 Бюл. №20
4. Спосіб керування транспортним засобом по положенню №59651 від 25.05.2011 Бюл. №10
5. Комп'ютерна програма «Симулятор руху машинно-тракторного агрегату(МТА)» Авторське право на твір Від 03.2012.
6. Пат. 102574 Україна, МКИ7 В62D5/00. Тактильне рульове керування по положенню з постійною чутливістю до керуючого впливу/ А. М. Бондар, В. О. Петров, А.О. Кашкар'юв (Україна). - № 201503566; заявл. 16.04.15; опубл. 10.11.15, Бюл. №21.
7. Пат. 102573 Україна, МКИ7 В62D5/00. рульове керування по положенню з постійною чутливістю до керуючого впливу/ А. М. Бондар, В. О. Петров, А.О. Кашкар'юв (Україна). - № 201503559; заявл. 16.04.15; опубл. 10.11.15, Бюл. №21.





## **ЗАЛЕЖНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕРГОНОМІЧНИХ РУЛЬОВИХ КЕРУВАНЬ НА БАЗІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ**

*Петров В.О., Бондар А.М.*

**Анотація** - в роботі наведено аналіз розвитку систем рульового керування, показана перспективність електромеханічних підсилювачів та запропоновано спосіб синтезу нетрадиційних рульових керувань за рахунок їх використання в якості асинхронного сервоприводу. Розроблені залежності для різних варіантів рульових керувань.

## **DEPENDENCES OF FUNCTIONING OF NEW, ERGONOMICS STEERING MANAGERMENTS ON BASE OF ELECTRO MECHANICS STRENGTHENERS**

V.Petrov , A.Bondar.

### *Summary*

**The paper analyzes the development of steering systems, electromechanical power perspectivity and a method for the synthesis of non-conventional steering controls through their use as an asynchronous servo. The worked out dependences are for the different variants of steering managements.**