

УДК 622.24

**ИССЛЕДОВАНИЕ СООТВЕТСТВИЯ  
ХАРАКТЕРИСТИК АДАПТИВНОГО  
МОДУЛЯ ГИДРОПРИВОДА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ  
МАШИН**

*Хиникадзе Т. А.*

Институт сферы обслуживания и  
предпринимательства (филиал) Донского  
государственного технического университета,  
Шахты, Российская Федерация

[khinikadze@mail.ru](mailto:khinikadze@mail.ru)

Рассматриваются две системно связанные технологические проблемы: создание функционально унифицируемого модуля гидропривода с функцией адаптации силовых и кинематических параметров рабочего органа многофункциональных технологических машин и оборудования к переменным параметрам сопротивления воздействию. Проведено исследование вспомогательных, без адаптации, функции модуля и их соответствие аналогичным функциям многоцелевых машин и оборудования. Отмечены возможные конструктивные исполнения модуля и анализ их влияния на характеристики, например, на чувствительность. Приведены таблицы соответствия характеристик модуля технологическим функциям машин и оборудования.

**Ключевые слова:** гидропривод, адаптивный модуль, прямая, обратная связь, многоцелевые, функции, таблицы соответствия.

**Введение.** В настоящее время зарубежные и российские производители техники уделяют серьезное внимание вопросам унификации, особенно в части модульного построения машин и оборудования различного функционального назначения [1]. Концепция модульного построения структуры технической системы важна для гидропривода технологических машин и оборудования, именно для гидропривода с адаптивными свойствами.

**Описание и постановка задачи.** Примерами подсистем гидропривода с адаптивными свойствами являются устройства [2,3,4], которые отнесены к категории адаптивных модулей, выполняющих как функции собственно силового привода машин, так и функции адаптивной системы предельного регулирования. Структурно-кинематическая схема одного из таких модулей приведена на рисунке 1.

UDC 622.24

**STUDY OF CHARACTERISTICS  
CONFORMITY OF THE HYDRAULIC  
DRIVE ADAPTIVE MODULE TO  
TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF  
THE EQUIPMENT**

*Khinikadze T. A.*

The Institute of service sector and entrepreneurship  
(branch) Don State Technical University, Shakhty,  
Russian Federation

[khinikadze@mail.ru](mailto:khinikadze@mail.ru)

The paper considers two system-related technological problems: the creation of a functionally unified hydraulic drive module with the function of adapting the power and kinematic parameters of the working body of multifunctional technological machines and the equipment to variable parameters of resistance to effects. It presents the study of the auxiliary, without adaptation, functions of the module and their compliance with similar functions of multi-purpose machinery and equipment. Possible constructive versions of the module and the analysis of their influence on the characteristics, such as sensitivity, are noted. Compliance tables of module characteristics with the technological functions of machines and equipment are given.

**Keywords:** hydraulic drive, adaptive module, straight line, feedback, multipurpose, functions, compliance tables.

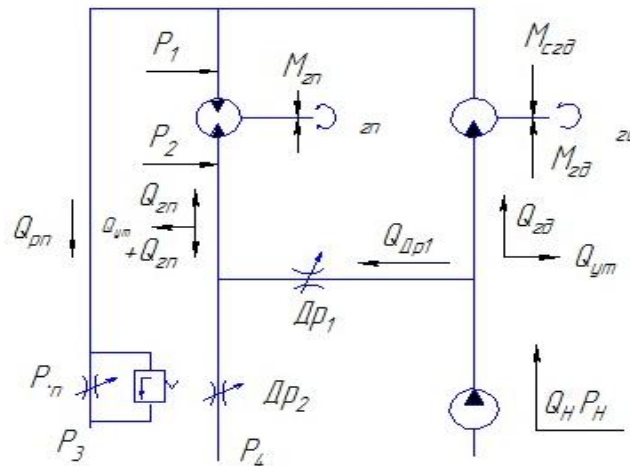


Рис. 1. Структурно-кинематическая схема адаптивного модуля

На рисунке приняты обозначения:  $P_n, D_{p2}, D_{p1}, \text{гп}, \text{гд}, M_{гд}, M_{гп}, M_{сгд}, M_{сгп}, Q_n, Q_{гд}, Q_{гп}, Q_{Др1}, Q_{ут}, P_1, P_2, P_3$  — соответственно: регулятор потока, дроссели №1 и №2; гидромоторы подачи и главного движения; моменты, выходной и сопротивления, на валах гидромоторов; расходы рабочей жидкости на насосе, гидромоторах, дросселях, утечек; давления после гидромоторов главного движения и подачи, на сливе.

**Основная часть.** Структура гидросистемы позволяет реализовать функцию самоадаптации модуля по силовым и кинематическим параметрам рабочего органа машин и оборудования с целью стабилизации выходного момента (усилия) воздействия при нестабильности параметров среды сопротивления. Функция самоадаптации достигается модулем за счет наличия и реализации внутренних обратной отрицательной и прямой положительной связей [5], т.е.:

$$\omega_{гп} = AM_0 - (BM_{сгд} + CM_{сгп}); \omega_{гп} = k_1\omega_{гд},$$

где  $\omega_{гп}, \omega_{гд}, k_1$  — угловые скорости гидромоторов, коэффициент связи.

Следует отметить, что модули, в зависимости от вида технологической функции, конструктивно могут иметь отличия: различные сочетания гидродвигателей (гидромотор – гидромотор, гидроцилиндр – гидроцилиндр, гидромотор – гидроцилиндр) и использование вместо регулятора потока (как на рисунке 1) регулируемого дросселя. Эти отличия отражаются на виде (но не принципе) связей управления, и (при последнем отличии) на жесткости гидросистемы, чувствительности, быстродействии модуля. При регулируемом дросселе ( $D_{p3}$ ) прямая положительная связь имеет вид:

$$\omega_{гп} = k_1\omega_{гд} - \mu \frac{f_{др3}}{f_{цп}} \sqrt{\frac{2\Delta P_{др3}}{\rho}},$$

где  $f_{др3}, f_{цп}, \rho, \mu$  — соответственно, площадь щели дросселя  $D_{p3}$  и поперечная площадь цилиндра подачи, плотность рабочей жидкости, коэффициент расхода.

Как видно, в этом исполнении модуля прямая положительная связь между угловыми скоростями будет менее «жесткой», чем при регуляторе потока. Однако, эта особенность в некоторых технологических процессах также может найти применение, например при плавном изменении скорости вибропрессования сыпучих, растительных материалов.

Для определения области использования адаптивного модуля и возможной его унификации рассмотрим возможные режимы его работы.

Функции модуля в режиме самоадаптации.

1. Модуль выполняет функции адаптивной системы и работает в режиме «регулирования положения» при  $Q_{гд} \approx Q_{рп}$  и  $Q_{др1} = Q_{др2}$ .

2. Модуль выполняет функции адаптивной системы и работает в режиме «регулирования скорости» при  $Q_{гд} \neq Q_{рп} \neq Q_{гп} \neq 0$ ;  $Q_{др1} \neq Q_{др2} \neq Q_{гп} \neq 0$ .

Функции модуля без адаптации.

1. Регулятор режимов  $D_{р1}$  полностью перекрыт, т.е.  $Q_{др1} = 0$ . В этом случае модуль работает как обычный гидравлический привод, осуществляющий или только главное движение ( $Q_{др2} = 0$ ), или одновременно главное движение и движение подачи.

2. Регулятор потока  $P_{п}$  перекрыт, т.е.  $Q_{рп}=0$ . Модуль, в данном случае, работает как обычный привод, осуществляющий главное движение и движение прямой подачи для осуществления ускоренной прямой подачи.

3. Дроссель  $D_{р2}$  перекрыт, т.е.  $Q_{др2}=0$ . Модуль будет работать как обычный привод, осуществляющий либо главное движение и движение обратной подачи одновременно, либо главное движение (при отключении привода подачи), либо лишь движение обратной подачи (при отключении гидромотора подачи).

4. Вал гидромотора главного движения не вращается ( $Q_{гд}=0$ ). Модуль работает как обычный привод обратной подачи, и инструмент отводится из зоны обработки (при отключении или заклинивании гидромотора).

Для анализа чувствительности привода подачи модуля вводится коэффициент усиления (функцию чувствительности первого порядка [6]) по частоте вращения гидромотора подачи  $n_{гп}$ . При этом  $\Delta P_{др1}$  принимается за аргумент [7].

При использовании в модуле регулятора потока (как на рисунке) этот показатель имеет вид:

$$\frac{\partial n_{гп}}{\partial \Delta P_{др1}} = -0,5 f_{др1} \frac{1}{\sqrt{\Delta P_{др1}}}$$

При использовании в модуле вместо регулятора потока регулируемого дросселя ( $D_{р3}$ ) этот показатель имеет вид:

$$\frac{\partial n_{гп}}{\partial \Delta P_{др1}} = -0,5 f_{др1} \frac{1}{\sqrt{\Delta P_{др1} + \Delta P_{др3}}}$$

Из сравнения этих показателей следует очевидный вывод, что чувствительность модуля по изменению моментов (усилий) сопротивления обработке, воспринимаемых рабочим органом (инструментом) технологической машины при регуляторе потока будет выше, чем при дросселе.

Но, с другой стороны, при дросселе будет иметь место лучшее демпфирование процесса воздействия рабочего органа машины (например, при плавном прессовании материала).

Показанные возможности адаптивного модуля позволяют определить область использования его модификаций (таблицы 1 и 2).

Таблица 1

Анализ соответствия характеристик адаптивного модуля технологическим требованиям к приводам машин и оборудования

Требования к приводам технологических машин и оборудования	Возможности технологического гидропривода	Аналитический анализ характеристик адаптивного модуля	Соответствие требованиям
Зависимости скорости выходного звена от сопротивления движению	Бесступенчатая настройка в системах без обратной связи или с обратной связью	Наличие прямой положительной и обратной отрицательной связей	Соответствует
Зависимости скорости выходного звена от управляющих воздействий системы управления	Легко достигается регулировка: скорости; крутящего момента; силы.	1. Дроссельное регулирование 2. Регулирование регулятором 3. Смешанное регулирование	$Q_{рп} = var$ $Q_{рп} = const$ Соответствует
Соответствие выходной характеристики режиму нагружения механизма	Передача больших сил (крутящих моментов)	Возможно; в зависимости от мощности привода и типа насоса	Соответствует
Быстродействие	Высокое быстродействие	Высокое; в зависимости от вида регулирования (дроссель, рег. потока)	Соответствует
Чувствительность	Возможность контролируемых движений с большой или предельно малой скоростью	Определяется режимом работы: 1. $V_i = 0 \pm \Delta V_{i0}$ — стабилизация 2. $V_i = V_{i0} \pm \Delta V_{i0}$ — стабилизация	Соответствует Положение Скорость
Устойчивость	Регулируемые жесткость, демпфирование, частота и амплитуда колебаний	Колебания — устойчивые автоколебания	Соответствует
Высокая надежность в условиях без регламентного обслуживания	Простота защиты от перегрузки	Отрицательная обратная связь по приращению момента (усилия) сопротивления	Соответствует
Безопасность эксплуатации	Простое централизованное управление.	Наладка по номограммам. Адаптивная, без вмешательства оператора, работа модуля	Соответствует
Агрегатно-модульное построение системы	Возможность децентрализованного преобразования гидравлической энергии в механическую.	Возможность функциональной унификации типоразмеров адаптивного модуля	Соответствует
Высокий КПД привода	$\eta_p = 0,65$ – Разомкнутый гидропривод; $\eta_z = 0,75$ – Замкнутый год	$\eta_{ан} \approx 0,6 \max$	Условно соответствует

## Анализ соответствия адаптивного модуля технологическим операциям

Область применения и виды технологических операций	Математическая модель (условие) обеспечения технологической операции адаптивным модулем
<b>А. Операции с адаптацией параметров</b>	
Применение в качестве автономного привода	Машины и оборудование одноцелевого назначения
Применение в качестве адаптивного модуля (подсистемы) гидросистемы	Машины и оборудование многоцелевого оборудования (подъем и опускание аутригеров, стрелы и другое)
Бурение со стабилизацией скорости	$M_{c\partial n} \Rightarrow f(\omega_0 = a) \Rightarrow f(v_0 = b)$ , a,b — заданные значения скоростей
Бурение с силовой стабилизацией (положения)	$M_{c\partial d}, M_{c\partial n} \Rightarrow f(\omega_0 = 0) \Rightarrow f(v_0 = 0)$ — колебания скоростей в области $0 \pm \Delta\omega, v$
Роторная нарезка траншеи	$M_{c\partial n} \Rightarrow f(\omega_0 = a) \Rightarrow f(v_0 = b)$ , a,b — заданные значения скоростей
Цепная нарезка траншеи	$M_{c\partial n} \Rightarrow f(\omega_0 = a) \Rightarrow f(v_0 = b)$ , a,b — заданные значения скоростей
Встречное вибропрессование	$M_{c\partial n} \Rightarrow f(\omega_0 = a) \Rightarrow f(v_0 = b)$ , a,b — заданные значения скоростей
Механическая обработка материалов (в том числе бескопирная) резанием: точение, сверление, фрезерование, хонингование отверстий давлением: обкатка, упрочнение, прессование порошков	$M_{c\partial d}, M_{c\partial n} \Rightarrow f(\omega_0 = a) \Rightarrow f(v_0 = b)$ , a,b — заданные значения скоростей
	$M_{c\partial d}, M_{c\partial n} \Rightarrow f(\omega_0 = 0) \Rightarrow f(v_0 = 0)$ — колебания скоростей в области $0 \pm \Delta\omega, v$
<b>Б. Операции без адаптации параметров</b>	
Транспортные	$M_{c\partial d} = var; \omega = var; v = 0; M_{c\partial n} = 0$ . Наладка на режим работы
Почвообрабатывающие с навесным (прицепным) оборудованием	Наладка на нужный режим работы
Операции группы А без адаптации	Наладка на нужный режим работы

**Заключение.** Установлено, что прямые положительные связи по скоростям движения гидродвигателей модуля с регулятором потока и модуля р регулируемым дросселем отличаются, что влияет на их жесткость, чувствительность, быстродействие. Критический анализ соответствия функций адаптивного модуля гидропривода и функций многоцелевых машин и оборудования показал возможность специализации модулей разного исполнения для соответствующих технологических процессов.

**Библиографический список**

1. Янсон, Р. А. Проектирование машин строительного производства на основе модульной концепции / Р. А. Янсон, Р. В. Саськов, И. П. Коклин // Механизация строительства, — №3 (285) —2013. — С. 36–43.
2. Способ бурения породы с переменными свойствами и устройство для его осуществления: патент № 2582691 Рос. Федерация: Е21В 44/00 / В. А. Першин, И. К. Гугуев,

Т. А. Хиникадзе, А. В. Ковалев — № 2015112959/03; заявл. 08.04.2015; опубл. 27.04.2016, Бюл. №12. — 2 с.

3. Устройство для стабилизации толщины снимаемого слоя при механической обработке криволинейных поверхностей: а. с. № 483224 СССР: 23q 5/06, В24b 5/16 / А. Н. Дровников, Г. М. Водяник, В. А. Першин — № 2018478/25–8 4; заявл. 19.04.74; опубл. 05.09.75, Бюл. №33. — 4 с.

4. Способ интенсификации процесса резания: авт. свид. № 929331 СССР: В 23 В 1/00 / В. И. Толубец, В. А. Першин, В. В. Гвоздев, Л. В. Ларина, А. Н. Дровников — №2789053/25–08; заявл. 04.07.79; опубл. 23.05.82. Бюл. №19.— 4 с.

5. Хиникадзе, Т. А. Исследование показателей функциональной унификации технических систем. / В. А. Першин, Т. А. Хиникадзе // Современные проблемы науки, технол. и инновац. деятельности: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции 31.08.2017 г.: в 4 ч., // Под общ. ред. Е.П. Ткачёвой. — Белгород : ООО АПНИ, Часть I. — 2017. — С. 112–117.

6. Попов, В. Б. Гидропривод мобильных сельскохозяйственных машин : курс лекций / В. Б. Попов. — Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. — 101 с.

7. Хиникадзе, Т. А. Исследование устойчивости адаптивного модуля гидропривода. / В. А. Першин, И. К. Гугуев, Т. А. Хиникадзе, А. В. Ковалев // Теоретические и практические аспекты развития современной науки: материалы XVIII международной научно-практической конференции — Москва, 28–29 декабря 2015 г.— С. 12–17.