

*д.т.н., проф. Финкельштейн З.Л.,  
Палюх А.П.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ВЫСОКОМОМЕНТНЫЕ ПЛАНЕТАРНЫЕ ГИДРОМОТОРЫ С ПЛАВАЮЩИМИ САТЕЛЛИТАМИ – ПУТЬ СОЗДАНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*У статті розглянута конструкція вельми перспективної роторної гідромашини нового покоління з поліпшеними характеристиками на базі передач планетарного типу з некруглими колесами і проведений аналіз її застосування.*

***Ключові слова:** роторний гідромотор, планетарна передача з некруглими колесами, мобільні машини.*

*В статье рассмотрена конструкция весьма перспективной роторной гидромашины нового поколения с улучшенными характеристиками на базе передач планетарного типа с некруглыми колесами и проведен анализ ее применения.*

***Ключевые слова:** роторный гидромотор, планетарная передача с некруглыми колесами, мобильные машины.*

### **Вступлення**

Развитие машиностроения в первую очередь идет по пути упрощения кинематических схем и разного уменьшения габаритных размеров. В первую очередь это необходимо для оснащения мобильных машин в горной, металлургической, строительной, автомобильной и других отраслей тяжелой промышленности. Еще одним важным дополнительным требованием к созданию гидроприводов машин работающих в тяжелых условиях является обеспечение их пожаро- и взрывобезопасности. Решение их задач исторически решалось путем перехода от цилиндрических гидродвигателей к многоходовым, повышением рабочих давлений, широким распространением гипоидных гидромоторов. На этом пути были намечены основные гидравлические схемы, созданы методики расчетов всех узлов, исследована динамика их работы, силовые и инерционные усилия, действующие на узлы и детали, неравномерность скоростей и ускорений потоков жидкости в нагнетательных и сливных магистралях, пути подавления возникающих шумов и вибраций.

Приоритетную роль в создании малогабаритных, но высокомоментных гидромо-

торов сыграли отечественные специалисты ИГД им. А.А. Скочинского [1], Гидроуглемаша, Людиновского и Горловского машиностроительных заводов, Киевского авиационного университета, Таврического аграрного технического университета и ДонГТУ [2].

В последние годы в Польше были предложены патенты на создание принципиально новых роторных нерегулируемых гидромашин планетарного типа [3]. По своим рекламным параметрам [4] эти гидромашинны по своим массовосиловым показателям превосходят все ныне выпускаемые [5,6]. Насколько нам известно, в мировой литературе по принципам работы опубликована только докторская диссертация профессора Томского технического университета Ан И-Кана "Синтез, геометрические и прочностные расчеты планетарных механизмов с некруглыми зубчатыми колесами роторных гидромашин" [7,8].

Однако, в силу направленности этой диссертации на решение задач теории машин и механизмов и динамики машин, эта диссертация не рассматривает проблемы применения этих машин с точки зрения сравнения областей их применения.

### Описание гидромотора

Роторная гидромашина (РГМ) это гидромашина нового поколения с улучшенными характеристиками на базе передач планетарного типа с некруглыми колесами. В отличие от шестеренной гидромашины при определенных сочетаниях геометрических параметров в РГМ отсутствуют опорные реакции, что позволяет существенно упростить конструкцию опорных узлов, торцевых уплотнений и системы в целом, а геометрические формы деталей и их взаимное расположение позволяют создавать компактные устройства. Кроме того, конструктивная особенность РГМ такова, что они могут быть соединены последовательно между собой на основе единого вала. Переключение магистралей высокого и низкого давлений осуществляется без использования специальных устройств, т.е. машина реверсивна.

Перенос рабочей жидкости в РГМ осуществляется на принципе изменения рабочего объема в пространстве между зубьями и корпусом машины.

На рис. 1 показана схема работы роторных планетарных гидромоторов с плавающими сателлитами и некруглыми солнечными колесами. РГМ содержит два некруглых солнечных колеса 1 и 2 с наружными и внутренними зубьями и сателлиты 3, сопряженными с солнечными колесами. На торцевой крышке размещены каналы

для подвода 4 и отвода 5 рабочей жидкости. Причем подводящие и отводящие каналы чередуются и расположены на одинаковом удалении от осей солнечных колес. Устройство в режиме двигателя при неподвижном солнечном колесе с внутренними зубьями 2 работает следующим образом. В зоне активного хода, когда подводящие каналы 4 не перекрыты сателлитами 3, взаимодействуя с солнечными колесами 1 и 2, создают момент, приводящий в движение солнечное колесо 1 с валом 7 (направление показано стрелкой W). Кроме того, в результате непосредственного воздействия рабочей жидкости на солнечное колесо 1 возникает дополнительный движущий момент, совпадающий по направлению с предыдущим, т.к. вектор результирующей силы проходит вне оси вращения вала 7. При дальнейшем вращении солнечного колеса 1 с валом 7 подводящий канал 4 перекрывается сателлитом 3, и заканчивается фаза активного хода. После этого рабочая камера 6 соединяется с магистралью низкого давления через выпускающий канал 5. В результате этого происходит вывод рабочей жидкости. Затем вновь наступает фаза активного хода. Описанный процесс работы выполняет каждая пара сателлитов 3 (количество сателлитов в данном исполнении равно 7) и поэтому движущий момент на валу 7 является суммарным.

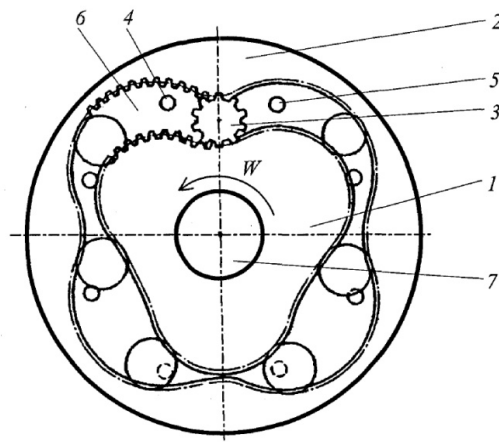


Рисунок 1 – РГМ: 1 - солнечное колесо с наружными зубьями, 2 - солнечное колесо с внутренними зубьями, 3 - сателлит, 4 - подводящий канал рабочей жидкости, 5 - канал для отвода рабочей жидкости, 6 - рабочая камера, 7 - вал солнечного колеса с наружными зубьями.

Сателлиты выполняют функцию клапанов между рабочими камерами и управляют подводом и отводом рабочей жидкости. Пространство  $b$ , заключенное между двумя соседними сателлитами и солнечными колесами, служат рабочей камерой. Количество рабочих камер и сателлитов равно сумме выступов на солнечных колесах: треугольника и квадрата ( $3+4=7$ ), квадрата и шестиугольника ( $4+6=10$ ), шестиугольника и восьмиугольника ( $6+8=14$ ), а количество рабочих циклов, приходящихся на один оборот вала, равно произведению количества выступов на солнечных колесах: треугольника и квадрата ( $3 \times 4=12$ ), квадрата и шестиугольника ( $4 \times 6=24$ ), шестиугольника и восьмиугольника ( $6 \times 8=48$ ), благодаря чему достигается большой геометрический рабочий объем гидродвигателя.

Изменение направления вращения вала 7 осуществляется путем переключения каналов 4 и 5 с магистралью высоким и низким давлением.

Рабочим органом гидромотора является планетарный механизм в котором солнечная и кольцевая шестерни выполнены в виде геометрических фигур. На рис. 2 представлены варианты РГМ при других сочетаниях чисел арок и выступов на солнечных колесах.

Некруглые зубчатые колеса применяют преимущественно для передачи движения

с переменной скоростью. Обобщая полученные применительно к требованиям работы в режиме гидромотора результаты, можно утверждать:

- число арок на солнечном колесе с внутренними зубьями должно быть больше числа выступов на солнечном колесе с наружными зубьями, но не больше чем на три;

- наибольшее число сателлитов должно быть равно сумме числа арок на солнечном колесе с наружными зубьями и числа выступов на солнечном колесе с внутренними зубьями;

- число зубьев на солнечном колесе с наружными зубьями должно быть кратно числу выступов на этом колесе;

- число зубьев на сателлите должно быть меньше половины разности чисел зубьев солнечных колес.

Также РГМ обладает такими положительными качествами, как малая флуктуация вращающего момента, высокая производительность, соосность колес, простота конструкции, небольшие габаритные размеры.

Некоторые виды таких гидромашин изготавливают за рубежом, однако информации относительно расчетов указанных машин, за исключением рекламных проспектов [4], нет.

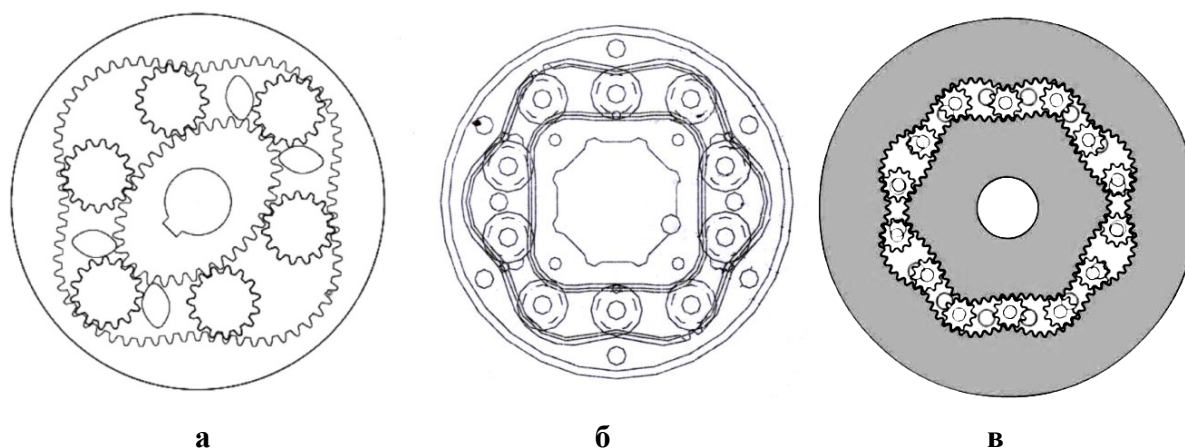


Рисунок 2 – Варианты исполнения РГМ: а) овал в квадрате; б) квадрат в шестиугольнике; в) шестиугольник в восьмиугольнике

### Сравнение РГМ с другими типами гидромашин

Для объективного анализа качества гидропередачи и выбора критерия для сравнения гидромашин различных типов необходимо определить показатели, позволяющие оценить совершенство их конструкции [6].

Важным параметром, характеризующим совершенство конструкции, является отношение массы на единицу рабочего объема (удельная масса) и отношение массы на единицу передаваемого момента (удельный момент).

Целесообразно сравнивать высокомоментные гидромоторы, поэтому для сравнения выбираем радиально-поршневые, аксиально-поршневые и героторные гидромоторы, с рабочим давлением 20 МПа.

На рис. 3 показано отношение рабочего объема к массе, на рис. 4 отношение передаваемого крутящего момента к массе гид-

ромотора. Кроме того, на этих же графиках показана длина линейного ряда того или иного принципа построения гидромоторов.

Из графика рис. 3 мы видим, что для РГМ с увеличением рабочего объема в 6,5 раз масса увеличивается в 2 раза. У гиподных гидромашин при увеличении объема в 2,5 раза масса практически не изменяется, но в сравнении с РГМ его масса при тех же объемах в 2 раза больше. Для аксиально-поршневых при увеличении объема в 2 раза масса увеличивается в 3,5 раза, в сравнении с РГМ его масса в 2-6 раз больше при тех же рабочих объемах. У радиально-поршневого мотора при увеличении объема в 2,5 раза масса увеличивается в 1,5 раза, в сравнении с РГМ при тех же объемах его масса больше в 5 раз больше.

На графике рис. 4 показаны преимущества РГМ по сравнению с другими гидромоторами по массосиловым показателям.

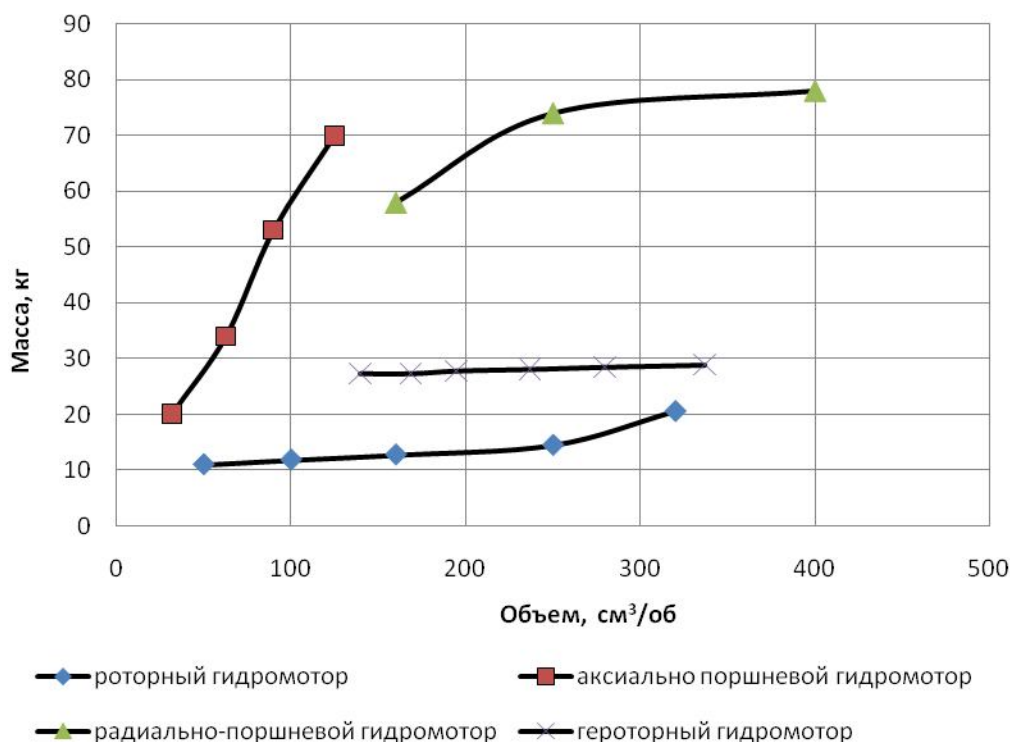


Рисунок 3 - Удельные массовые показатели гидромоторов различных типов

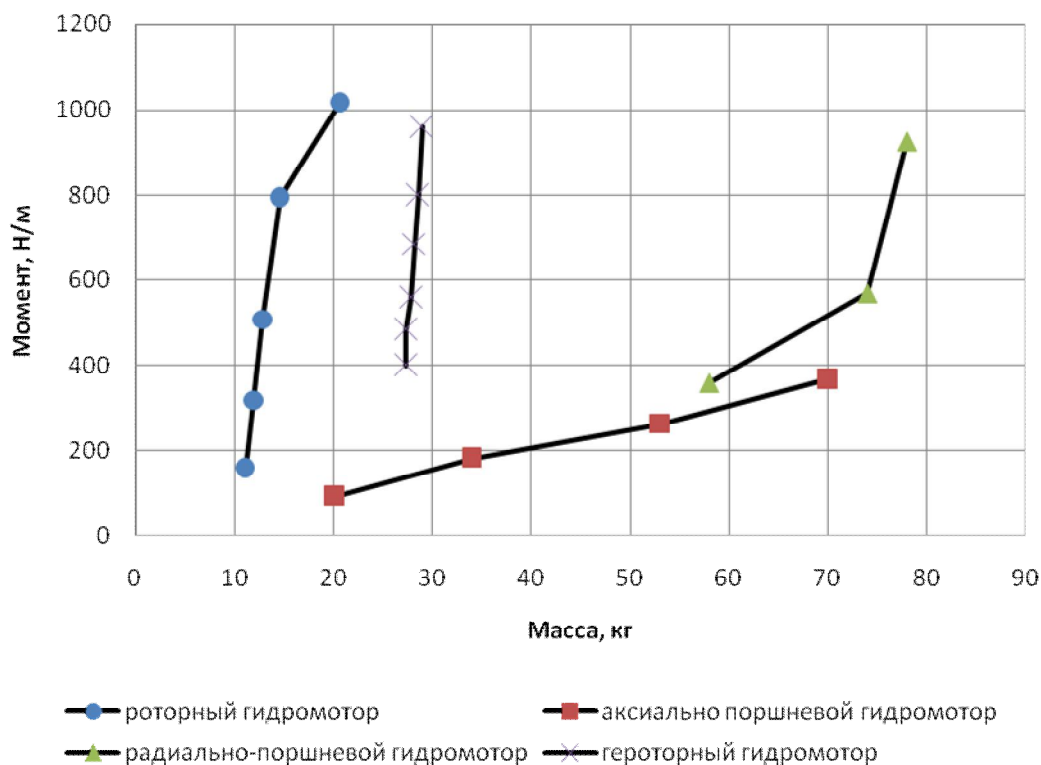


Рисунок 4 - Удельный момент гидромоторов различных типов

Из графиков мы видим что роторная гидромашина по показателям удельного веса и удельного момента превосходит гидромоторы, время доводки которых составляет десятки лет, что способствует увеличению эффективности рабочих машин с такими гидромоторами.

Компактность РГМ и его высокая устойчивость к загрязнениям определяют его большую универсальность. Работает гидромотор надежно при питании жидкостью со степенью очистки 100 мкм, и такой низкой вязкостью как масляно-водная эмульсия.

Польский завод «Гидромех», единственный в мире изготавливающий гидромоторы типа РГМ, любезно передал кафедре «Прикладная гидромеханика» ДонГТУ гидравлическую пилу, производимую в движение гидромотором типа SP (рис. 2б), со следующими параметрами: давление жидкости питания - 16 - 20 МПа; рабочий объем - 50 см<sup>3</sup>/об; крутящий момент (20 МПа) - 160 Нм; питание - эмульсия масляно-водная

HF-A 99-99.7% H<sub>2</sub>O; тонкость очистки - до 100 мкм.

Согласно условий передачи нам указанного оборудования мы не имеем права использования его для коммерческих целей, но с возможным проведением исследований.

На рис. 5 показан гидромотор SP выполненный по схеме "квадрат в шестиугольнике", расположение сателлитов, углы между ними.

Анализируя достоинства и недостатки гидромотора РГМ мы считаем, что и те и другие несут на себе следы преимуществ и недостатков машин, на базе которых они созданы.

Известно, что шестеренные машины отличаются малыми габаритными размерами, малой массой при достаточно большой передаваемой мощности, простотой изготовления, сравнительно невысокой требовательностью к чистоте рабочей жидкости. Именно поэтому 80% всех выпускаемых в мире гидромашин являются шестеренными. Недостатки их также известны специалистам. Это невозможность регулирования

рабочего объема, работа при давлениях среднего уровня (до 16 - 18 МПа), сравнительно невысокие допустимые обороты, что объясняется наличием центробежных выталкивающих сил в районе всасывающего патрубка, неуравновешенность сил, вызванных давлением жидкости и силами в зацеплении зубьев, что приводит к изнашиванию деталей опорных узлов, приводящих в падению объемного КПД, а также увеличению торцевых зазоров. Следует также отметить нерациональность работы шестеренных гидромашин в реверсивном режиме, а также в режиме гидромотора. Наш опыт работы шестеренного прямозубчатого насоса в режиме мотора показал, что пусковой момент в этом случае более чем в десять раз превышает номинальный.

Гидромоторы нового поколения типа РГМ выполненные на базе передач планетарного типа с некруглыми колесами и с плавающими сателлитами, не имея опорных реакций, более надежны и проще конструктивно. Кроме того, здесь устранен

самый существенный бич шестеренных машин — заземленный объем. Отсутствие специальных торцевых уплотнений увеличивает компактность конструкции.

#### **Вывод**

Нерешенные вопросы, связанные с планетарным гидромотором требуют разработки методик расчета конструктивных параметров гидромотора; выявление конструктивных недостатков и модернизацию гидромотора; обоснование возникновения крутящего момента на сателлитах; динамика пульсаций при переходных процессах; выбор оптимального соотношения профилей формы поверхностей планетарного зубчатого соединения; определение основных силовых и геометрических параметров планетарных гидромоторов; определение динамических составляющих давления и скоростей при работе гидромотора; обоснование области применения планетарных гидромоторов с плавающими сателлитами.



Рисунок 5 – Расположение сателлитов в РГМ

### **Библиографический список**

1. Докукин А.В. Радиально-поршневые гидромоторы многократного действия: конструкция, теория и расчет / Докукин А.В., Rogov A.Я., Фейфец Л.С. — М.: Машиностроение, 1980. - 288 с., ил.
2. Пат. № 53036. Радиально-поршневий гідромотор багаторазової дії/ Фінкельштейн З.Л., Яценко О.В. Публ. 27.09.2010 р. Бл. № 18.
3. Пат. № 484710 СССР, F 04с 1/08, Объемный роторный двигатель / Б.Сеняевский // БИ. 1975. № 34.
4. Официальный сайт завода HYDROMECH. Режим доступа [www.hydromech-rac.pl](http://www.hydromech-rac.pl)
5. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Объемные гидро- и пневмомашин и передачи: Учеб. пособие для вузов / Андреев А.Ф., Барташевич Л.В., Богдан Н.В. и др.; Под ред. В.В. Гуськова. —Мн.; Выш. шк., 1987. —310 с.; ил.
6. Пономаренко Ю.Ф. Высокомоментные радиально-поршневые гидромоторы горных машин / Пономаренко Юрий Филиппович. — М., «Недра», 1972. - 376 с.
7. Ан И-Кан. Синтез, геометрические и прочностные расчеты планетарных механизмов с некруглыми зубчатыми колесами роторных гидромашин : дис. ... докт. техн. наук : 01.02.06, 05.02.18 / Ан И-Кан. — Томск, 2001. — 236 с.
8. Пат. № 2137943 Российская Федерация, F04 C 2/08. Роторная гидромашинна /Ан И-Кан //БИ. -1999. - №26 .

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. Литвинским Г.Г.**