

## Применение нанокристаллического дисульфида молибдена в машинах с гидродинамическими передачами

© Н.Д. Ильяшенко, К.Е. Грунин, Д.К. Горелов

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, 248000, Россия

*Рассмотрено применение присадки дисульфида молибдена плотностью до 5 000 кг/м<sup>3</sup>. Присадки, выполненные по нанотехнологиям, не только улучшают вязкостные и антикоррозионные свойства, но и увеличивают плотность рабочих масел. Это дает возможность повысить мощность машины с гидродинамическим трансформатором или уменьшить их размеры при той же мощности.*

**Ключевые слова:** гидродинамический трансформатор, мощность, плотность жидкости, присадки, нанотехнологии, дисульфид молибдена.

Увеличение мощностей современных машин с гидравлическим приводом заставляет задуматься о возможностях таких приводов.

В настоящее время на Сахалине используется устаревший парк путевых машин, вследствие чего возникает необходимость обновить его. Для этого планируется модернизация тепловоза ТГ16М и адаптация его к условиям полуострова.

На данном тепловозе был установлен привод с электрической передачей, которая по сравнению с гидравлической имеет существенные недостатки: значительная масса, потери мощности, высокая стоимость цветных металлов, требующихся для ее изготовления, большие капитальные затраты. Для устранения указанных недостатков необходимо проектирование новой гидропередачи.

В техническом задании на проектирование гидропередачи завода ОАО «Калугапутьмаш» записаны следующие требования: полная мощность тепловоза по дизелям должна составлять 2940 кВт (соответственно по 1470 кВт для каждой секции), обеспечение силы тяги при трогании с места не менее 543,3 кН, для длительного режима для колеи 1067 мм — 190 кН, для колеи 1520 мм — 172 кН. Завод ОАО «Калугапутьмаш» серийно выпускает гидропередачи УГП-750-1200 с двумя одинаковыми гидротрансформаторами с расчетным передаточным отношением  $i^* = 0,65$ . Прежде всего необходимо решить вопрос, как повысить мощность в 2,66 раза, не изменяя конструкции гидропередачи УГП 750-1200. В связи с этим перед авторами стояла задача повышения мощности другими способами.

**Цель данного исследования** — поиск возможностей увеличения мощности любой гидродинамической передачи.

Для лопастных машин мощность определяется по следующей формуле:

$$N = \rho n^3 D_a^5,$$

где  $N$  — мощность машины, кВт;  $\rho$  — плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $n$  — частота вращения насосного колеса, об/мин;  $D_a$  — активный диаметр трансформатора, м.

Для повышения мощности можно увеличить:

- во-первых, активный диаметр, но исходя из условия неизменности конструкции, сделать это сложно;
- во-вторых, число оборотов, но и здесь конструкторы ограничены возможностью работы подшипников. Ни для кого не секрет, что двигатель является одним из самых «узких» и ненадежных мест в тепловозе, поэтому в числе основных требований к гидропередаче — защита двигателя;
- в-третьих, плотность жидкости.

Первоначально трансформатор работал на масле с плотностью  $\rho = 860 \text{ кг/м}^3$ . Однако в настоящее время благодаря развитию нанотехнологий появились присадки для гидравлических жидкостей на основе дисульфида молибдена и дисульфида вольфрама, которые применяются для улучшения смазывающих способностей масел в самолетостроении. Поэтому предлагается использовать названные присадки (их плотность составляет  $5000 \text{ кг/м}^3$ ). Подбором количества присадок плотность жидкости можно довести до  $2200 \text{ кг/м}^3$ . Из приведенной выше формулы видно, что, не меняя геометрических параметров, мощность увеличится почти в 2 раза.

Присадки представляют собой добавки к минеральным, синтетическим и полусинтетическим маслам. Благодаря их использованию можно обеспечить высокую плотность рабочей жидкости и значительно повысить мощность без изменения конструкции гидротрансформаторов.

Применение присадок позволит осуществлять регулирование гидропередачи за счет не увеличения числа оборотов двигателя, а варьирования величины плотности жидкости в зависимости от количества используемых присадок. Тем самым появится возможность защитить двигатель и регулировать мощность гидропередачи.

Вопросом изменения свойств жидкости за счет использования присадок занимались и прежде. Например, решению этой задачи уделили внимание в Институте проблем материаловедения им. И.М. Францевича Национальной академии наук Украины, а также в НИИ нефтеперерабатывающей промышленности «МАСМА» (Киев, Украина).

Данному вопросу посвящена статья «Трибологические свойства новых смазочных композиций с участием твердых наносмазок —

нанокристаллических дисульфидов молибдена и вольфрама» (И.А. Любин, М.В. Курбатова, К.Э. Гинкевич, Л.М. Куликов, Н.Б. Кёниг, Л.Г. Аксельруд, В.Н. Давыдов).

Нанотехнологии — реальное направление технического прогресса, дело ближайшего будущего, в том числе и для производства. Основой всех исследований служат наноматериалы — материалы, созданные с использованием наночастиц и/или посредством нанотехнологий, обладающие какими-либо уникальными свойствами, которые обусловлены именно присутствием этих частиц в материале.

Мелкодисперсионный размер присадок позволяет беспрепятственно протекать рабочей жидкости через фильтр с размером ячейки 9 ... 15 мкм. При этом присадка не осажается и не задерживается на фильтре, а свободно проходит через самые узкие масляные каналы. Кроме того, она хорошо стабилизируется в масле, что удерживает ее во взвешенном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации и не позволяет самопроизвольно осажаться на поверхности. Кроме того, улучшаются физико-химические характеристики масел, замедляется процесс окисления и старения масла.

Применение присадок также положительно повлияет на КПД трансформатора, так как жидкость становится более вязкой, соответственно протечек будет меньше и объемный КПД возрастет. К тому же частицы дисульфида вольфрама сделают жидкость более скользкой, вследствие чего гидравлический КПД также должен возрасти. Оценить КПД гидродинамического трансформатора позволят последующие испытания.

Использование рабочей жидкости различной плотности позволит выполнять машины широкого диапазона мощностей на основе одной и той же гидропередачи. Например, можно купить дорогостоящие иностранные гидропередачи фирмы Voith (Германия) с мощностью в 2 раза меньше необходимой (в целях экономии средств) и затем довести ее до требуемого уровня за счет присадок. Применение присадок также позволит повысить мощность существующей гидропередачи без изменения конструкции гидротрансформаторов.

Повышение мощности гидропередачи за счет использования присадок возможно во многих областях машиностроения. В автомобилестроении, например, можно использовать одну и ту же передачу для автомашин разной, в том числе и большой, мощности, т. е. можно заменить двигатель, а гидропередачу оставить прежней.

На всех машинах большой мощности с гидропередачами можно уменьшить размеры гидроаппаратов, увеличив плотность жидкости. К таким машинам относятся:

- танки, для которых очень важны габариты;
- грузовые автомобили, для которых актуальна мощность;

- судовые передачи, для которых большое значение имеют габариты и масса;
- гидротормоза, конвейеры и т. д.

Кроме того, в процессе исследований и испытаний было обнаружено, что порошки, полученные на базе нанотехнологий, позволяют снизить уровень шума, что очень актуально как для судовых гидропередач, так и для остальных крупногабаритных машин.

Муфты вязкостного трения, применяемые для привода вентилятора во всех машинах, также являются лопастными машинами. Следовательно, применение присадок будет благоприятно сказываться и на их работе, так как момент на муфте пропорционален плотности жидкости. Поэтому можно создать одну унифицированную конструкцию муфты вязкостного трения и использовать ее в разных механизмах, меняя только плотность жидкости.

Применение присадок позволит уменьшить размеры гидропередачи, защитить двигатель внутреннего сгорания (ДВС), и передать роль регулятора силы тяги на гидропередачу, что также увеличит моторесурс машин.

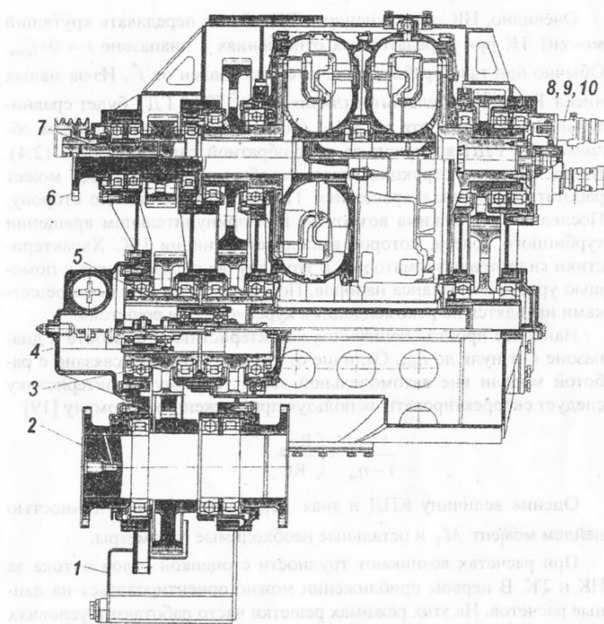
Самое эффективное применение порошков на основе дисульфида молибдена и дисульфида вольфрама — это увеличение плотности рабочей жидкости в гидравлических машинах, используемых на буровых установках. В геологоразведке в качестве гидравлических используются лопастные машины, в которых увеличение плотности рабочей жидкости без потерь приведет к повышению мощностей. При бурении пород разной плотности достаточно менять только буровое оборудование (насадки), а мощность самих буровых установок — регулировать с помощью присадок. Это позволит значительно сократить не только затраты на смену машин, но и время проведения работ.

За счет повышения производительности работы любой машины ожидается снижение затрат на изготовление и эксплуатацию не только гидроаппаратов, но и всей машины. Увеличение срока службы ДВС и гидропередачи также дает положительный экономический эффект.

На первоначальном этапе основной задачей является повышение мощности гидропередачи без изменения ее конструкции. Для этих целей будет использована гидропередача дизель-поезда (рис. 1).

Благодаря применению присадок можно увеличить мощность до требуемого значения даже при старой конструкции гидропередачи, серийно выпускаемой заводом ОАО «Калугапутьмаш», с использованием двух гидротрансформаторов с передаточным отношением  $i^* = 0,65$  практически без переделок. При наличии двух одинаковых гидротрансформаторов появляются обратные связи, представляющие собой две пары шестерен, которые соединяют два вала.





**Рис. 1.** Гидропередача тепловоза ТГ16М (продольный разрез):

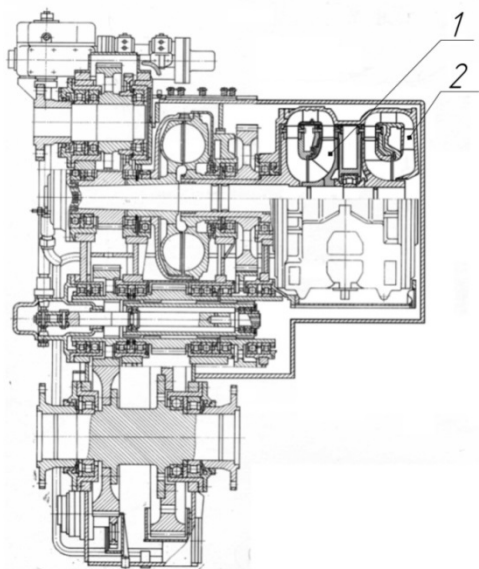
- 1 — корпус гидропередачи; 2 — раздаточный вал; 3 — вал реверса;  
 4 — механизм переключения реверса; 5 — вторичный вал; 6 — приводной вал; 7 — главный вал; 8 — привод датчика скорости; 9 — установка клапана блокировки; 10 — блокировочный клапан

Главный недостаток такой конструкции — большие потери в опорожненных трансформаторах. В данном случае муфта работает в режиме  $i^* = 0,1$ . При этом ее КПД будет порядка 10 %.

Применение подобной гидропередачи вызвано отсутствием при проектировании пусковых трансформаторов и установкой двух одинаковых гидротрансформаторов ТП1000М с номинальным передаточным отношением  $i^* = 0,65$ . Авторы спроектировали пусковой гидродинамический трансформатор. Применение усовершенствованного трансформатора позволит изготовить новые гидропередачи без обратных связей, что значительно упростит конструкцию за счет уменьшения числа силовых зубчатых пар (примерно на 30 %). Исчезнет и необходимость в шестернях, соединяющих два вала, ввиду его отсутствия. В результате уменьшатся габариты, масса и трудоемкость изготовления гидропередачи. Кроме того, применение пускового трансформатора с передаточным отношением  $i^* = 0,3$  позволит значительно снизить окружные скорости в режиме холостого зацепления. Это обеспечит повышение надежности и долговечности зубчатых пар. Благодаря снижению частоты вращения турбинного колеса в режиме опорожнения его долговечность и надежность также

увеличатся. При обратной связи механической ступени наблюдается ограничение частоты вращения главного вала. Поэтому устранение обратной связи дает возможность повышения мощности гидропередачи за счет увеличения числа оборотов насосного вала без изменения размеров гидропередачи.

Авторами была предложена конструкция двухступенчатого гидротрансформатора с передаточным отношением  $i^* = 0,3$  (рис. 2). Данный трансформатор имеет одно насосное, два турбинных колеса и один неподвижный реактор.



**Рис. 2.** Гидропередача с пусковым трансформатором  $i^* = 0,3$ :

1 — пусковой гидродинамический трансформатор; 2 — маршевый гидродинамический трансформатор

Одним из наиболее очевидных преимуществ новой конструкции является выигрыш в себестоимости и затратах на эксплуатацию гидропередачи. Экономическая эффективность от замены гидропередачи связана со следующими изменениями:

- уменьшение габаритов гидропередачи и сокращение количества деталей. Точная оценка влияния габаритов может быть проведена после выполнения технического проекта. Повышение частоты вращения от 2000 до 2900 об/с приведет к снижению массы примерно на 20 %;
- снижение затрат на топливо и масло, которое определяется повышением КПД гидротрансформатора и изменением кривых согласования гидропередачи с дизелем;
- повышение надежности работы тепловоза.

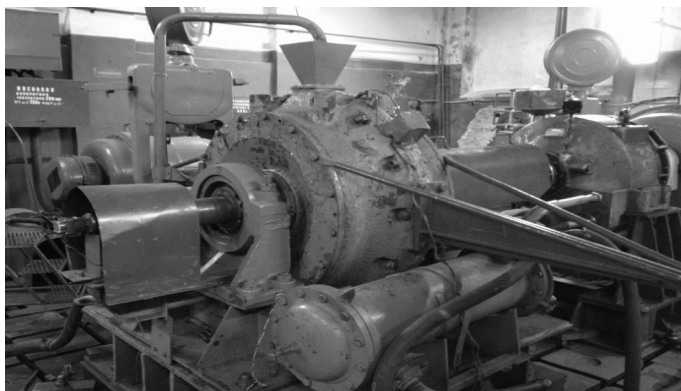
Пусковой трансформатор с передаточным отношением  $i^* = 0,3$  может быть с успехом использован при создании перспективных

тепловозных гидропередат. Применение его в схеме гидродинамической передачи без обратных связей позволяет создать гидротрансмиссию, превосходящую по своим технико-энергетическим характеристикам унифицированную гидропередачу, серийно выпускаемую ОАО «Калугапутьмаш» на базе трансформатора ТП1000М. Новая гидропередача более дешевая в изготовлении, экономичнее и надежнее в эксплуатации.

Для того чтобы на практике показать возможности наноприсадок, проведены стендовые испытания на заводе «Калугапутьмаш». Стендовые испытания базировались на положении о минимальных изменениях в конструкции экспериментальной установки и гидротрансформатора. Выбран был серийно выпускаемый заводом гидротрансформатор. Модель отличалась только рабочей жидкостью, в которую добавлялись присадки дисульфида молибдена плотностью до  $5000 \text{ кг/м}^3$ .

Присадки нетоксичны, химически нейтральны к маслам, снижают коэффициент трения и повышают износостойкость. Дисульфид молибдена дешевле, чем дисульфид вольфрама, обладает смазывающей способностью и применяется в самолетостроении в качестве присадок к рабочей жидкости.

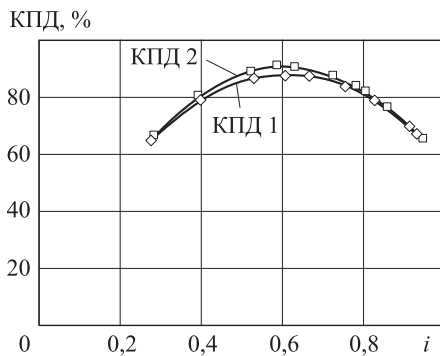
Испытания проводились в 2013 г. на гидравлическом стенде с мощностью  $N = 600 \text{ кВт}$  при частоте вращения насосного колеса  $n = 3000 \text{ об/мин}$  в лаборатории завода «Калугапутьмаш» (рис. 3).



**Рис. 3.** Стенд для испытаний гидротрансформатора с присадками на основе дисульфида молибдена

После введения в рабочую жидкость присадки дисульфида молибдена до 20 % по массе было проведено сравнение характеристик гидродинамического трансформатора, показавшее, что на расчетном режиме КПД растет. Увеличение общего КПД вызвано ростом каждого из его составляющих (рис.4):

- *механический КПД* возрастает благодаря улучшению смазывающих способностей жидкости, особенно ярко это отражается на смазке подшипников качения;



**Рис. 4.** График изменения КПД:

КПД 1 — до введения присадки; КПД 2 — после введения присадки

- увеличение вязкости вызывает рост *объемного КПД*;
- присадки способствуют улучшению скольжения жидкости, что благоприятно сказывается на *гидравлическом КПД*, поскольку снижается коэффициент трения.

Использование порошков в качестве присадок для увеличения плотности жидкости приводит к росту энергоемкости благодаря повышению мощности машины.

Результаты проведенных испытаний подтверждают, что от применения данной разработки может быть получена огромная выгода. За счет увеличения производительности работы любой машины будет иметь место снижение затрат на изготовление и эксплуатацию не только гидроаппаратов, но и всей машины. Увеличение срока службы ДВС и гидropередачи также дает положительный экономический эффект.

В 2011 г. объем продаж гидropередачи УГП 750-1200 составил 2 ед, так как спрос на данный вид продукции весьма низок. Основной причиной является устаревшая конструкция и несоответствие технических характеристик современным требованиям. Цена реализации одной единицы продукции — 3 632 тыс. руб. Таким образом, выручка от продаж составила 7 264 тыс. руб. На изготовление же данного объема продукции было затрачено 5 920, 2 тыс. руб. Соответственно прибыль от продажи — 1 343,8 тыс. руб.

Как показала практика, объем производства модернизированной передачи УГП-2000 ежегодно увеличивается. Это связано с возрастающей потребностью в транспортных машинах (большой износ железнодорожного парка России).

Затраты на проектирование гидropередачи УГП-2000 окупаются в течение первого года производства, поскольку прибыль от продажи составляет примерно 2 млн руб. В ходе экономического анализа был сделан вывод, что инвестиционный проект разработки и изготовле-

ния гидропередачи УПП-2000 имеет финансовую стабильность, а следовательно, низкий риск потерь вложенных средств.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что использование присадок, полученных с помощью нанотехнологий, на основе дисульфида молибдена позволит без особых усилий повысить мощность гидропередачи до требуемых значений, а новая конструкция будет лишена недостатков, проявляющихся при использовании гидропередачи с обратными связями.

Статья поступила в редакцию 27.05.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Ильяшенко Н.Д., Грунин К.Е., Горелов Д.К. Применение нанокристаллического дисульфида молибдена в машинах с гидродинамическими передачами. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 1.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/1172.html>

**Грунин Кирилл Евгеньевич** окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2013 г. Инженер-конструктор 1-й категории завода ОАО «Ремпутьмаш».  
e-mail: the\_splintery@mail.ru

**Ильяшенко Наталия Дмитриевна** окончила МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2013 г. Инженер по обслуживанию гидравлических и пневматических систем на заводе ПСМА-РУС.

**Горелов Дмитрий Константинович** — ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.