

## Редуктор ветрогенератора капризен к маслам.

Читатели «Инженерии» наверняка знакомы с редуктором промышленного назначения (также известным как «трансмиссия»). Постараемся заглянуть вовнутрь редуктора и поговорим о применении различных смазочных материалов.

Автор статьи - Меэлис Оргла, член правления Addinol MM OÜ и менеджер по продажам на территории Балтийских стран.

За последние 50 лет технология производства редукторов заметно усовершенствовалась (более подробная информация в таблице «Развитие технологии редукторов»): мощность и нагрузки увеличились в несколько раз. Кроме того, существенно уменьшился объем масла, используемого в редукторах. Это, в свою очередь означает, что масло должно выдерживать более серьезные нагрузки, чем раньше, и что рабочая температура масла стала выше. В то же время качество редукторного масла остается неизменным на протяжении последних 15-20 лет. Согласно немецким промышленным нормам, к редукторным маслам класса *CLP* относятся современные промышленные трансмиссионные масла. *CLP* означает: *C* - трансмиссионное масло; *L* – ингибиторы окисления и коррозии; *P* – противоизносные присадки.



Промышленные трансмиссионные масла изготавливаются на основе различных масел. Основные базовые компоненты - минеральное масло, *PAO* (полиальфаолефин) и синтетические масла на основе *PG* (полигликолы).

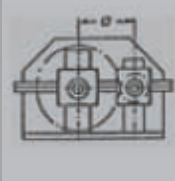
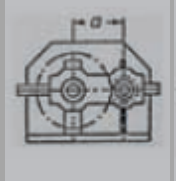
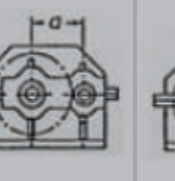
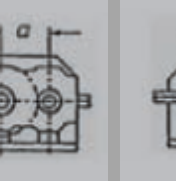
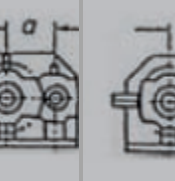

Важно знать, что *PG* масла не смешиваются с другими маслами. Это нужно помнить при замене или добавлении редукторного масла. *PAO* и минеральные масла теоретически смешивать можно, но не советую этого делать, так как это негативно скажется на качестве масел. Кроме того, полезно знать, что благодаря молекулярному строению, смазочная способность минерального масла лучше, чем синтетического масла. Структура минерального масла довольно неоднородна, и молекулы разной длины зацепляются за поверхность металла лучше, чем в случае применения синтетического масла, состоящего из молекул более - менее одинаковой длины. Поэтому в условиях стабильной рабочей температуры (в помещении), не поднимающейся выше 80<sup>0</sup>С, лучше использовать минеральное масло. Синтетическое масло можно с некоторой уступкой считать «компромиссным» решением между функцией смазывания и долговечностью масла.

## Таблица «Развитие технологии редукторов»

Уменьшение размера и веса редуктора в связи со спецификой применения при помощи использования сверхпрочных материалов, выдерживающих большие нагрузки

( $M_1=21\ 400\ \text{N}_\text{м}$ ,  $n_1=500\ \text{min}^{-1}$ ,  $i = 3$ , сварной корпус продукта).

Beitz, W.: Различные конструкции материало- и энергосберегающих редукторов. Конструкции 42 (1990) 12, 378–384

Материал	Шестерня и зубчатое колесо C <sub>45</sub>	Шестерня и зубчатое колесо 4 <sub>2</sub> CrMo <sub>4</sub>	Шестерня 4 <sub>2</sub> CrMo <sub>4</sub> и зубчатое колесо 2 <sub>0</sub> MnCr <sub>5</sub>	Шестерня и зубчатое колесо 3 <sub>1</sub> CrMoV <sub>9</sub>	Шестерня и зубчатое колесо 3 <sub>4</sub> CrMo <sub>4</sub>	Шестерня и зубчатое колесо 2 <sub>0</sub> MnCr <sub>5</sub>
Термическая обработка	нормализованы	улучшены	ВШ: цементованы ЗК: улучшены	обработаны газообразным азотом	боковые стороны индукционно закалены	цементированы
Обработка	фрезерованы винтовой фрезой	фрезерованы винтовой фрезой	ВШ: отшлифованы ЗК: фрезерованы винтовой фрезой	фрезерованы с эффектом шлифования	фрезерованы	отшлифованы
Расстояние между осями $a$ модуль $m$	$\frac{830\ \text{мм}}{10}$	$\frac{650\ \text{мм}}{10}$	$\frac{585\ \text{мм}}{10}$	$\frac{490\ \text{мм}}{10}$	$\frac{470\ \text{мм}}{10}$	$\frac{390\ \text{мм}}{10}$
Размер (сварной корпус)						
Общая масса	8505 кг	4860 кг	3465 кг	2620 кг	2390 кг	1581 кг
Общая масса, %	174	100	71	54	49	33

## Работа в ветрогенераторе – наиболее сложная рабочая среда для редуктора

В редукторах ветрогенераторов надо обязательно использовать синтетическое масло, поскольку масло должно работать в любых условиях, в том числе и экстремальных условиях эксплуатации.

Задачи трансмиссионного масла:

1. снизить трение;
2. сохранять чистоту редуктора (масло содержит специальные присадки, удерживающие частицы металла, благодаря чему те не откладываются на поверхности металла);
3. предотвращение образования пены;
4. предотвращение окисления;
5. предотвращение коррозии;
6. водоотделение;
7. фильтрация.

Редукторы бывают разными. Некоторые из них маленькие и используют там т.н. пожизненное масло. Как правило, они не ремонтируются, а просто заменяются в случае поломки. В больших редукторах масло меняют, а также проводятся разные сервисные работы. Для редуктора наиболее сложной рабочей средой является работа внутри ветрогенераторов. Там возникают экстремальные силы, очень разные температуры, постоянно меняется скорость, возникает вибрация и образуется влага. Главные проблемы в трансмиссии:

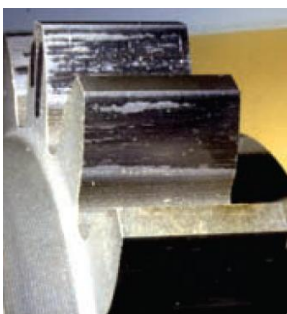
1. микропиттинг;
2. питтинг;
3. выкрашивание зубьев;
4. поломка зубьев;
5. поломка подшипников.

Основные причины образования микропиттинга:

1. недостаточный или неравномерный слой масла на зубе: масло должно равномерно покрывать поверхность зуба, не собираясь в капли или пятна;
2. постоянное изменение нагрузки;
3. первые т.н. серые пятна на зубьях. Серые пятна можно сравнить с замершей лужей. Неповрежденный лёд прозрачен. Если же ударить по льду, появятся трещины и лёд становится тусклым. Серые пятна являются такими же микротрещинами. Далее из серых пятен образуется питтинг;
4. несоответствующая вязкость масла;
5. пенообразование в масле.

Если на зубе уже образовался микропиттинг, то далее обычно образуется питтинг. А это приводит к выкрашиванию и поломке зуба, в результате чего требуется замена зубчатого колеса.

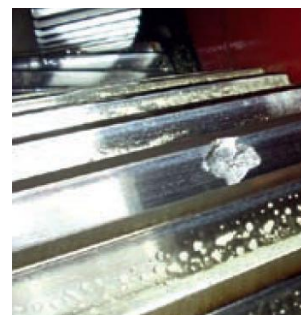
### **«Болезни» зубчатых колес**



Микропиттинг



Микропиттинг в ветрогенераторе

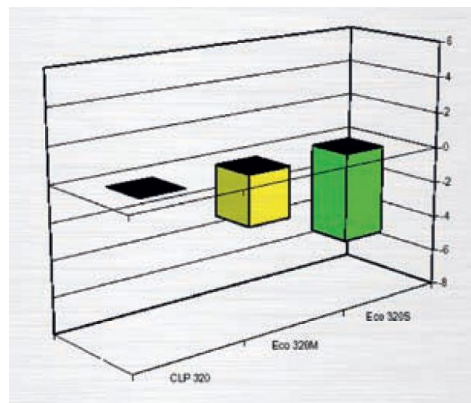


Поломка зуба в ветрогенераторе

## Результаты двухлетних исследований в Мюнхенском техническом университете

Снижение потерь мощности редуктора

В 2003 году 13 ведущих производителей трансмиссионного масла промышленного назначения заказали тест в Мюнхенском техническом университете с целью проведения сравнительного анализа масла Addinol ECO GEAR и продуктов 13 производителей. Мюнхенский технический университет является ведущим научным учреждением по исследованию зубчатых передач. Исследование длилось более двух лет. В 2005 году университет был готов разгласить результаты теста его участникам (см. рис. Снижение потерь мощности редуктора). Выяснилось, что при использовании ECO GEAR коэффициент трения ниже по сравнению с другими маслами. Преимущество масла выявляется в тяжелых условиях – при высоких температурах и нагрузках, а также высокой скорости, например, в редукторах ветрогенераторов. На сегодняшний день это масло используется уже примерно в 2000 ветрогенераторах.



Изменение потерь мощности, %

Во второй половине 1990-х годов в фирме Addinol начали разрабатывать трансмиссионное масло нового поколения. Addinol совместно с Flender - крупнейшим изготовителем редукторов - разработали новое масло ECO GEAR как на минеральной, так и на синтетической основе (PAO).

Основным отличием этого масла от масел класса CLP является принцип действия: сглаживание поверхности металла путем пластической деформации. Существенно это означает предотвращение питтинга или «ремонт» уже образовавшегося питтинга. Это же означает снижение коэффициента трения и результатом этого является снижение рабочей температуры редуктора. Снижение температуры является важным по нескольким причинам. Во-первых, увеличение температуры на каждые 10°C приводит к двукратному уменьшению срока службы масла. Масло уже не надо менять так часто, снижается время простоев.

Приведем пример из опыта нашего крупного клиента в Эстонии. Раньше там использовали масло всемирно известного производителя, соответствующее нормам CLP, но поскольку рабочая температура редуктора превышала критическую норму, редуктор автоматически выключался. Однако после того как мы предложили им использовать ECO GEAR, рабочая температура редуктора снизилась примерно на 10 градусов и разрешилась проблема с выключением редуктора. Вязкость масла и базовое масло были такими же.