

МАШИНОСТАЗ КАК СВОЙСТВО ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Ю. М. Ермаков

*Московский государственный университет приборостроения и информатики,
г. Москва*

В резерве деталей машин 90 процентов запаса прочности, отметил в своё время академик А. И. Целиков. Признаками такого запаса являются конструкция детали, её опоры, соединение с другими деталями в механизме. Не менее значимы технологичность, способность адаптироваться к быстро и медленно протекающим процессам (вибрациям, динамике, температурам, изнашиванию, старению) и самовосстановляемость.

Факторы напрямую взаимосвязаны; улучшение какого-либо одного из них положительно влияет на другие, и наоборот. Эта взаимосвязь имеет элементы синергизма – превышение эффекта от суммы отдельно взятых действий. Положительные процессы могут привести к такой долговечности деталей и узла, которая не предусмотрена никакими расчётами, а неблагоприятные – к необратимым отрицательным последствиям.

Критерии оценки эффективности механизма, машины известна: минимальные металлоёмкость, энергоёмкость, себестоимость, работоспособность; максимальные долговечность, надёжность. Стремление к оптимальному результату требует рассмотрения конструктивных связей в рабочем состоянии, т. е. во взаимодействии деталей механизма при непрерывно изменяющихся условиях.

В реальной машине кинематические и механические связи обладают свойствами саморегуляции и поддержания нормальных условий работы. Если эти свойства усилить до адаптации специальными конструктивными мерами, то машина сможет служить долго. Примеров долгожителей немало, особенно в системах «человек-машина»: станки, паровозы, ретроавтомобили, семидесятилетние часы, велосипеды, радиоприёмники и другие предметы бытовой техники.

Жизненный цикл изделия увеличивается со способностью конструкции к саморегуляции. Поэтому, наряду с техническими показателями, в теорию конструирования машин следует ввести понятие «машиностаз» по аналогии с биологическим гомеостазом [5].

Гомеостаз (греч. *homoiós* – одинаковый и *stasis* – состояние) по И. П. Павлову и У. Кен-

нону – относительное постоянство состава и функций внутренней среды организма при внешних и внутренних возмущениях.

Машиностаз (латинское *machina* – машина и *stasis*) – состояние внутренней механической среды машины в процессе выполнения работы с заданными функциями при переменных внешних воздействиях. Внутренняя механическая среда – это детали и механизмы во взаимодействии между собой и физические условия, их сопровождающие. Понятие машиностаз дополняет **механостаз** – состояние внутренней среды механизма в процессе его работы, обеспечивающее выполнение заданных функций при переменных воздействиях. Оба термина входят в понятие «техностаз» и соответствуют науке бионике (греч. *bion* – ячейка жизни) – применению биологических знаний к технике для совершенствования и создания новых машин и технических систем [1,6].

Машиностаз можно обеспечить простейшими средствами, без специальных датчиков и средств преобразования их сигналов в дополнительные действия [2]. Простой пример: навитый из стальной и латунной лент вал передачи одинаково хорошо работает и в жару, и в холод (рисунок 1). Этому способствуют различные температурные коэффициенты расширения – у латуни он в 2 раза выше, обеспечивающие в бислойных витках противоположные напряжения растяжения-сжатия.

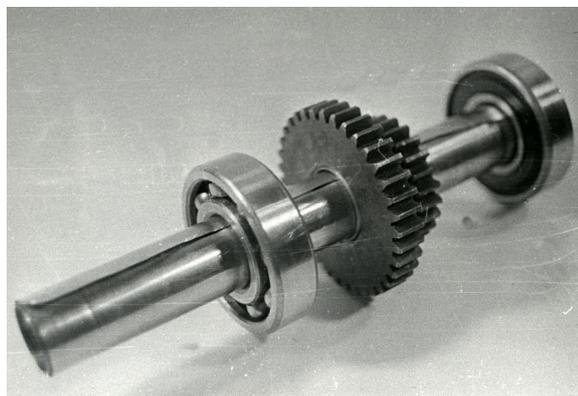


Рисунок 1 – Навитый вал передачи

Чтобы добиться наилучших технических характеристик узла, необходимо учитывать взаимное влияние деталей в соединении, сборке. Отдельно взятый вал имеет жёсткость меньшую, чем в сборе с деталями. Кроме того, плотно прилегающая к валу деталь не только увеличивает его поперечное сечение, но и равномерно распределяет сосредоточенную силу по длине посадочной поверхности. Особенно заметен этот эффект в тонкостенных конструкциях, полых деталях. Полый навитый вал с отверстием диаметром 85 % от наружного имеет массу в 4 раза меньше, а жёсткость в 2 раза меньше сплошного. При сборе с деталями он повышает свою жёсткость в 1,9 раза (см. рисунок 1).

Основной принцип машиностаза – предусмотреть поведение деталей и узлов в работе, нагрузить их в статике силами, противодействующими рабочим. В современном машиностроении широкое распространение получило предварительное напряжение деталей и конструкций с целью уменьшения напряжений при рабочих нагрузках. Это армирование железобетонных изделий предварительно растянутой стальной арматурой; обмотка с натягом высокопрочной лентой корпусных деталей штампов и молотов; составные из труб с натягом стволы тяжёлых орудий, сосуды высокого давления; намотка из композиционных и армированных лент корпусов и деталей авиа- и космического машиностроения [3,4].

Сборка узла при условиях машиностаза повышает технические параметры его и входящих в него деталей, придавая ему такие свойства, как саморегулируемость, защищённость от перегрузок, долговечность. Эти свойства обеспечиваются упругостью деталей. Степень упругости – жёсткость – определяется формой, материалом, конструкцией детали, узла и является признаком механической адаптации [2].

Рассмотрим конструктивные признаки адаптивного редуктора (рисунок 2). В навитом корпусе 1 расположены на подшипниках качения 2 навитые валы 3-5 с зубчатыми колёсами 6-9. Зубчатые колёса имеют посадочные отверстия овальной формы. Упруго деформируясь по ним, полые валы образуют некруглые соединения (рисунок 3). Межосевые расстояния первой a_1 и второй a_2 ступеней зубчатых передач выполнены меньше номинальных размеров на величину натяга в соединениях, что обеспечивает беззазорное зацепление зубьев.

Овальная форма валов в посадочных местах зубчатых колёс плавно переходит в круглую форму отверстий подшипников. Переменное поперечное сечение вала по его длине фиксирует зубчатые колёса от осевого смещения и создаёт осевой натяг установленных в распор подшипников.

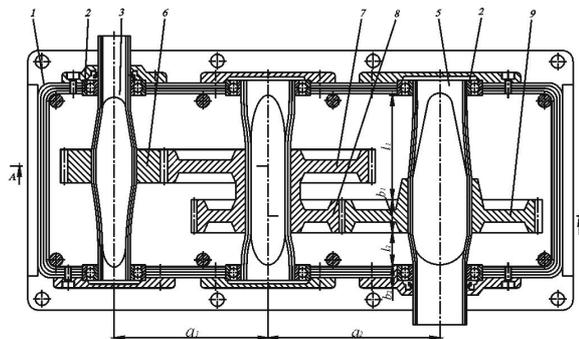


Рисунок 2 – Двухступенчатый адаптивный редуктор

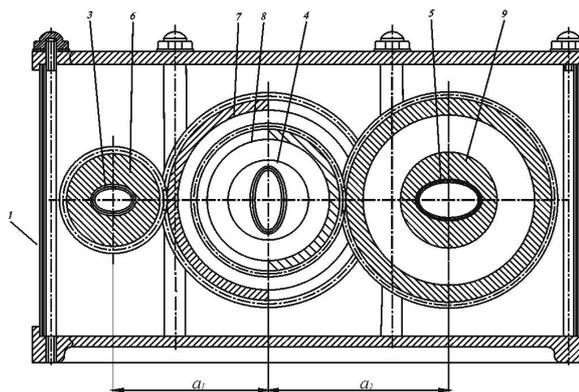


Рисунок 3 – Поперечный разрез адаптивного редуктора

Сжатый по высоте между основанием и крышкой корпус (см. рисунок 3), валы и зубчатые передачи как рёбра его жесткости, упругий натяг зубчатых зацеплений и подшипников формируют адаптивный редуктор как предварительно напряжённую систему. Адаптивный редуктор не имеет избыточных связей, вызывающих заклинивающие силы от перекосов валов, конструктивно прост и технологичен. Динамические нагрузки при работе воспринимаются предварительно напряжённой механической системой передач и корпуса, сглаживающей удары и исключаяющей поломки от перегрузок. Температурные изменения длин валов компенсируются упругим осевым натягом подшипников.

Основные признаки машиностаза следующие: 1 – материалы с заданными свойст-

вами, 2 – упругость деталей, 3 – многослойность деталей, 4 – взаимопропрочнение в сборочной единице, 5 – натяг системы деталей в механизме как условие перераспределения и выравнивания нагрузок.

Первые три принципа определяют требования к заготовке, а все вместе взятые – условия конструирования и анализ конструкции на свойства машиностаза. При недостаточном проявлении адаптируемых свойств изделие перерабатывается с улучшением элементов конструкции. В конечном итоге достигается суммарный эффект: простота и минимальная металлоёмкость, высокая технологичность, беззазорность, бесшумность, предохранительность, отсутствие регулировок. Запас прочности определяется упругим натягом всей системы и задействован на 90 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бионика. Биологические аспекты / под ред. Л. В. Решедько. – Киев : Вища шк., 1978. – 304 с.
2. Ермаков, Ю. М. Гибкая жёсткость / Ю. М. Ермаков // Изобретатель и рационализатор. – 1985. – с.14-15.
3. Ермаков, Ю.М. Ленты разные крутя / Ю. М. Ермаков // Техника-молодёжи. – 1991. – № 11. – с. 31-34.
4. Ермаков, Ю. М. Высокотехнологичные узлы и детали машин из ленты / Ю. М. Ермаков, И. Ю. Шилов // Ползуновский альманах. – Барнаул : АлтГТУ им. И. И. Ползунова, 2009. – №3. – с. 149-152.
5. Ермаков, Ю. М. Канун машиностаза / Ю. М. Ермаков // Техника-молодёжи. – 2009. – №1. – с. 46-49.
6. Новосельцев, В. Н. Организм в мире техники: кибернетический аспект / В. Н. Новосельцев. – М. : Наука, 1989. – 240 с.