

ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ ТЕЛ ЗАКЛИНИВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ СВОБОДНОГО ХОДА ИНЕРЦИОННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ГОРОДСКОГО АВТОБУСА

EVALUATION OF PUBLIC BUS'S INERTIAL TORQUE CONVERTER'S RECTIFY UNIT'S JAMMING BODIES' LOADING

Prof. Dr. Bazhenov S., Asp. Martinov A.
Faculty of Transport Engineering – Lipetsk State Technical University, Russian

Abstract: Calculation of endurance and static capacity of public bus's inertial automatic transmission for its longevity evaluation within its exploitation conditions is stated in the article.

Keywords: INERTIAL TORQUE CONVERTER, FREE-WHEEL CLUTCH MECHANISM, ENDURANCE

1. Введение

В эксцентриково - клиновых механизмах свободного хода (МСХ) [1] инерционной автоматической передачи (ИАП) [2] наиболее нагруженным звеном является тело заклинивания, которое при каждом включении подвергается воздействию переменных динамических нагрузок. Клиновое тело можно считать деталью, лимитирующей ресурс МСХ в целом. Особенности нагружения клина являются передача момента при неподвижных рабочих поверхностях в относительном движении и перемещение клина по рабочим поверхностям в процессе холостого хода МСХ, когда на него действуют только силы инерции. По этой причине лимитирующим ресурс ИАП можно считать работу клина в процессе передачи вращающего момента, когда он испытывает напряжения сжатия.

2. Предпосылки и средства для решения проблемы

Особенностями работы городского автобуса являются частые маршрутные остановки, остановки перед светофорами на перекрестках и пешеходных переходах. После каждой остановки ИАП начинает работу с режима неподвижного реактора, когда частота включения и нагрузки на МСХ имеют наибольшие значения. По мере разгона автобуса и нагрузки, и частота включения на звенья ИАП снижаются и после выхода на режим динамической муфты становятся минимальными и соответствующими условиям движения. На режиме динамической муфты выходной МСХ находится в заклиненном состоянии, корпусной МСХ работает в режиме холостого хода. На режимах разгона основные детали ИАП подвержены знакопеременным и циклическим воздействиям сил и моментов. Поэтому в первую очередь следует проводить расчеты на усталость. Практические расчеты на усталостную долговечность элементов механических систем основываются на феноменологической гипотезе суммирования (накопления) усталостных повреждений, которая позволяет по кривым усталости, полученным при испытаниях на стендах, судить об их ресурсах в соответствующих условиях эксплуатации, представленных в расчетах схематизированными нагрузочными режимами.

Для расчета необходимо выделить три составляющие: определение и схематизация нагрузочного режима, определение параметров кривой усталости и выбор варианта расчета. При определении параметров нагрузочного режима на стадии проектирования целесообразно использовать методы математического моделирования. Для этого необходимо использовать математическую модель рабочего процесса ИАП городского автобуса [3]. Нагрузочные режимы деталей тогда можно будет получить путем имитационного

математического моделирования движения городского автобуса по обобщенному маршруту, отражающему особенности характерных режимов работы машины в городских условиях.

Схематизированные нагрузочные режимы используются непосредственно в расчете и при определении обобщенного нагрузочного режима, учитываются при определении границ повреждающих напряжений, а также при оценке влияния асимметрии на кривую усталости.

3. Решение рассматриваемой проблемы

Основным видом напряжений в клине МСХ является сжатие от нормальной силы, действующей во втором или четвертом тактах рабочего цикла ИАП. Величина силы, сжимающей клин в эксцентриково - клиновых МСХ, может быть найдена по формуле [1]:

$$N = M_p / e = (r_2 + r_3) / (r_1 + r_2 + r_3 + r_4),$$

где M_p – расчетный момент, действующий на МСХ в силовом такте рабочего цикла ИАП, e – эксцентриситет эксцентрика МСХ; r_1, r_2, r_3, r_4 – радиусы, соответственно, эксцентрика, наружный радиус промежуточного кольца, внутренний радиус наружной обоймы, опорный радиус наружной обоймы относительно вала эксцентрика.

Напряжения сжатия клина $\sigma_{сж} = N / F$,

где F – площадь клина, воспринимающая нагрузку.

Размеры клина МСХ опытного образца ИАП городского автобуса [4]: наружный радиус – 71мм, внутренний радиус 53мм, ширина 13мм, длина рабочей поверхности (за вычетом длины технологических отверстий) – 20мм.

Рабочая площадь клина: $F = lb = 0,02 \times 0,013 = 0,00026$ м².

В качестве расчетного момента следует принимать величины динамических моментов, действующих в МСХ в процессе передачи нагрузки, найденные методом математического моделирования [5].

В каждом МСХ ИАП городского автобуса нагрузку передают четыре элемента: два клина и два внутренних зубчатых зацепления. Тогда расчетный момент, приходящийся на клин, найдется: $M_k = M_p / 4$.

Критерием статической и усталостной прочности могут служить коэффициенты запаса прочности, определяемые по предельным или допускаемым напряжениям. Расчет на статическую прочность следует проводить по максимальной нагрузке. Такая нагрузка в МСХ отмечается при номинальной частоте вращения вала двигателя и передаточном отношении ИАП, равном 0,3 (рис.1). Максимальный момент в МСХ на этом режиме равен 4984 Нм. С целью учета неточностей изготовления деталей, несоосностей и других технологических

факторов принимаем коэффициент неравномерности распределения нагрузки между силовыми звеньями МСХ, равном 0,75.

Тогда доля момента, приходящаяся на клин, найдется:

$$M_k = M_{\max} / 4 = 4984 / (0,75 \times 4) = 1661 \text{ Нм.}$$

Сила, сжимающая клин, определится:

$$N_1 = \frac{M_k}{e} \frac{r_2 + r_3}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4} = \frac{1661}{0,008} \frac{53 + 71}{44 + 53 + 71 + 46} = 120215 \text{ Н.}$$

Максимальное напряжение сжатия:

$$\sigma = N / F = 120215 / 0,00026 = 462 \text{ МПа.}$$

Клин изготовлен из стали 12Х2Н4А ГОСТ 4543-71, $\sigma_B = 1130$

МПа; $\sigma_0 = 930$ МПа.

Коэффициент запаса в этом случае:

$$n = \sigma_T / \sigma_{\max} = 930 / 462 = 2,01.$$

Деталь считается работоспособной, если коэффициент запаса не ниже минимально допустимого значения коэффициента запаса прочности $[n]$, то есть условие прочности имеет вид $n \geq [n]$. В большинстве случаев в машиностроении $[n] = 1,5 \dots 2,5$ [6]. В данном случае работоспособность клина при действии максимальной нагрузки обеспечена.

Однако, если учесть коэффициент концентрации напряжений, обусловленным круглым отверстием, равном 3 [6], то максимальные напряжения будут равны: $\sigma'_{\max} = K_{\max} \sigma = 1380$ МПа $> \sigma_B$, что недопустимо. Следовательно, при такой нагрузке наличие круглых отверстий в клине не допускается.

Для расчета на усталостную прочность следует учитывать весь спектр переменных напряжений клина при эксплуатационных режимах работы ИАП (рис. 1). Анализ графика показывает, что максимальные напряжения при каждой частоте вращения вала двигателя отмечаются при передаточном отношении ИАП, равном 0,3. В связи с этим для большей надежности результатов в качестве расчетных принимаем максимальные упругие моменты, действующие в МСХ на эксплуатационных режимах работы автобуса в зоне средних передаточных отношениях ИАП (таблица).

Коэффициент запаса прочности в этом случае находится:

$$n = \sigma_{-1} / \sigma_a,$$

где $\sigma_{-1} = (0,4 \dots 0,5) \sigma$, σ_a – эквивалентное напряжение.

Принимаем $\sigma_{-1} = 0,45 \sigma = 0,45 \times 1130 = 508$ МПа.

В качестве эквивалентного напряжения в данном случае можно принять математическое ожидание динамического ряда. Тогда

$$n = 508 / 171,87 = 2,96.$$

Таблица. 1.

Напряжения сжатия в клине МСХ на эксплуатационных режимах

M_p Нм	23	29	39	45	50	60	70	71	75
N Кн	7	4	6	8	1	3	7	8	2
$\sigma_{\text{н\acute{e}}}$ МПа	66	82	110	12	13	16	19	20	20
a			0	7	9	8	7	0	9

Продолжение таблицы

805	860	948	963	1037	1138	1246
58	62	69	70	75	82	90
224	239	263	268	289	316	346

Математическое ожидание в этом случае равно 171,87 МПа, среднее квадратическое отклонение – 76,69 МПа.

Таким образом, коэффициенты запаса прочности клина на эксплуатационных режимах работы как по статической прочности, так и по усталостной находятся в пределах допустимых величин.

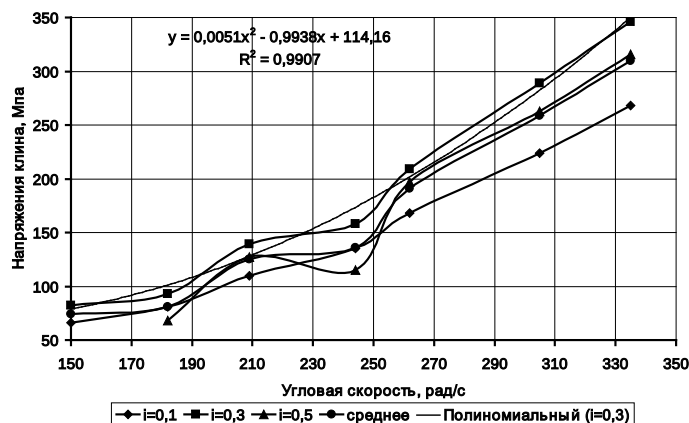


Рис. 1. Напряжения сжатия в клине на различных режимах работы ИАП

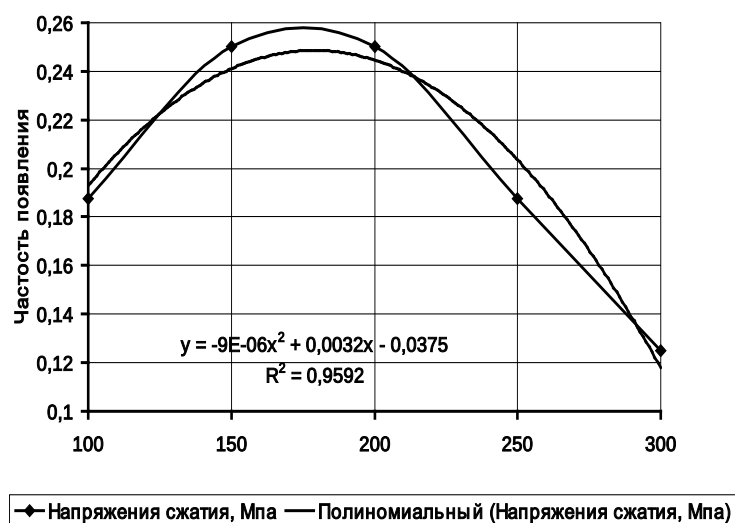


Рис. 2. Плотность распределения напряжений сжатия в клине на эксплуатационных режимах работы ИАП

4. Результаты и дискуссия

Можно использовать следующий порядок расчета детали автобуса с целью проверки её срока службы в характерных условиях эксплуатации [7]:

1. Установить классификацию условий эксплуатации для данного автобуса: типы дорог, полезная нагрузка, скоростной режим и т.д.
2. При помощи дорожных испытаний или методом математического моделирования определить нагрузочный режим детали.
3. Построить кривые распределения нагруженности детали для каждого из принятых условий эксплуатации.
4. Построить кривые усталости материала, из которого изготовлены детали.
5. Подсчитать коэффициент запаса усталостной прочности и предельный срок службы детали для каждого из принятых условий эксплуатации.

В данном случае исследования проводятся применительно к городскому автобусу, который эксплуатируется на дорогах с асфальтовым покрытием в условиях интенсивного дорожного движения.

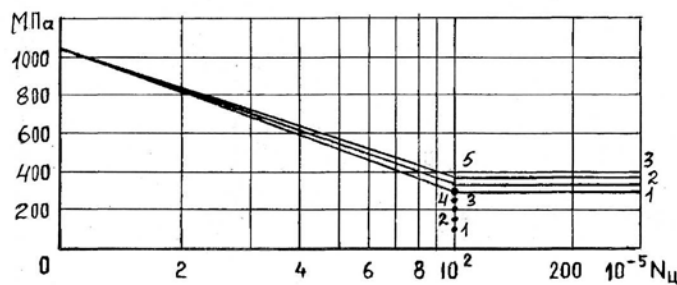


Рис. 3. Кривые усталости стали 12X2H4A ГОСТ 4543-71

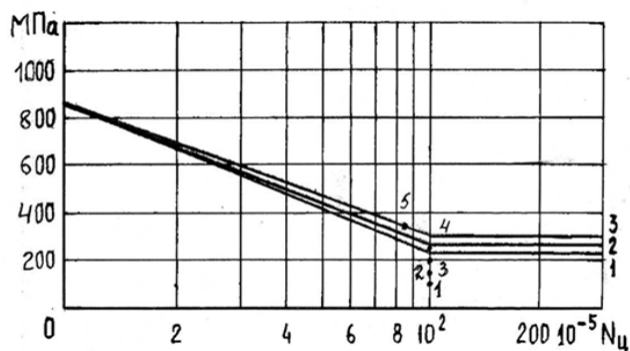


Рис. 4. Кривые усталости стали 18X2H4A ГОСТ 4543-71

Нагрузочные режимы МСХ получены методом математического моделирования работы ИТВМ на эксплуатационных режимах движения городского автобуса. Кривые распределения напряжений в клине в соответствии с нагрузочными режимами МСХ рассчитаны с учетом конструктивных особенностей механизма и характера протекания упругих моментов представлены на рис. 1, 2. Кривые усталости для стали 12X2H4A ГОСТ 4543-71 (рис. 3), для стали 18X2H4A ГОСТ 4543-71 имеют следующий вид (рис. 4) [7].

Номера приведенных кривых означают следующее:

- 1 – кривая выносливости стали при симметричном цикле нагружения;
- 2 – кривая выносливости стали при асимметричном цикле нагружения, соответствующем средней величине нагрузки;
- 3 – кривая выносливости стали при асимметричном цикле нагружения, соответствующем средней нагрузке при максимальных амплитудах колебаний нагрузки.

Номера точек на кривых выносливости соответствуют напряжениям в клине от минимального значения (точка 1) до максимального значения (точка 5) (таблица).

Заключение

Анализ графика показывает, что только при одном режиме работы ИТВМ максимальные напряжения сжатия в клине, изготовленного из стали 12X2H4A, располагаются на наклонной ветви кривых усталости, что свидетельствует об ограничении срока службы. При большинстве же режимов работы напряжения сжатия располагаются ниже критических значений напряжений, которые не ограничивают срок службы клина. При изготовлении клина из стали 18X2H4A напряжения сжатия в клине на всех режимах работы ИТВМ располагаются ниже критических напряжений. Следовательно, в этом случае клин может выдержать неограниченное количество циклов нагружения.

Литература

1. Благоданов А.А. Механические бесступенчатые передачи. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 202 с.

2. Баженов С.П. Бесступенчатые передачи тяговых и транспортных машин: Учебное пособие. Липецк, ЛГТУ, 2003. – 81 с.

3. Баженов С.П., Дедяев М.И. Математическое моделирование движения городского автобуса с инерционным автоматическим трансформатором вращающего момента. Матер. Всерос. науч.-техн. конф. Ижевск, ИжГТУ, 2008. С. 7...11.

4. Баженов С.П., Галкин А.В., Дедяев М.И. Инерционный трансформатор крутящего момента для городского автобуса. Автомобильная промышленность № 9, 2009. – С. 18...19.

5. Dynamic loads in inertial torque transformer of the city bus. Trans&MOTAUTO "09, Proceedings, "Technics. Technologies", Bulgaria, 2009.- P. 126 – 128

6. Расчет на прочность деталей машин: Справочное пособие/И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.

7. Прочность и долговечность автомобиля/Под ред.Б.В. Гольда. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.