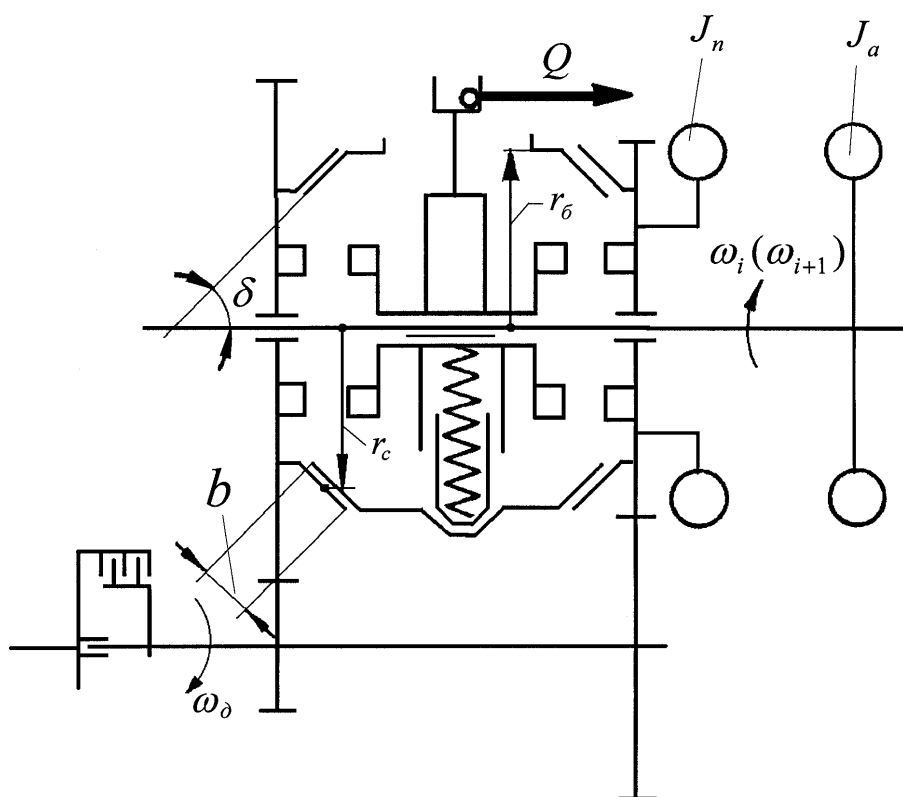


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ “МАМИ”

Д. т. н., проф. В. М. Шарипов
к. т. н., проф. И. М. Эглит

СИНХРОНИЗАТОРЫ

Рекомендовано УМО по автотракторному и дорожному образованию в качестве учебного пособия для студентов специальности 150100 “Автомобиле – и тракторостроение”



УДК 629.113 (075.8)

Шарипов В. М., Эглит И. М.

Синхронизаторы.

Учебное пособие для студентов специальности 150100 “Автомобиле – и тракторостроение”. – М.: МГТУ “МАМИ”, 2001. - 28 с.

В учебном пособии рассмотрены конструкция и расчет простых и инерционных синхронизаторов.

Пособие предназначено для студентов, изучающих конструирование и расчет автомобилей, тракторов и быстроходных гусеничных машин.

© Московский государственный технический университет “МАМИ”, 2001 г.

ISBN 5-94099-010-X

Валерий Михайлович Шарипов, проф., д. т. н.,

Имант Мартынович Эглит, проф., к. т. н.

Синхронизаторы. Учебное пособие для студентов специальности 150100 “Автомобиле– и тракторостроение”.

Лицензия ЛР № 021209 от 17.04.97 г.

Подписано в печать

Заказ

Тираж 100

Усл. п. л. 1,7

Уч.- изд. л. 1,78

Бумага типографская. Формат 60x90/16

МГТУ “МАМИ”, Москва, 105839 Б. Семеновская, 38

Содержание

1. Конструкции синхронизаторов	4
1.1. Назначение, общие сведения, предъявляемые требования и классификация	4
1.2. Простые синхронизаторы	5
1.3. Инерционные синхронизаторы	7
2. Расчет синхронизаторов	16
2.1. Расчет выравнивающего элемента синхронизатора	16
2.2. Расчет блокирующего устройства	20
2.3. Расчет зубчатой муфты	22
2.4. Расчет фиксатора	25
Список литературы	28

1. КОНСТРУКЦИИ СИНХРОНИЗАТОРОВ

1.1. Назначение, общие сведения, предъявляемые требования и классификация

Синхронизатором называют агрегат механизма управления коробкой передач (КП), служащий для их бесшумного и безударного включения передач. Их устанавливают обычно в КП с шестернями постоянного зацепления и неподвижными осями валов. В основу действия синхронизатора положен принцип использования сил трения для выравнивания (синхронизации) угловых скоростей соединяемых деталей, образующих передачу.

Встречаются КП, в которых каждая из передач переднего хода включается посредством синхронизатора. Однако в большинстве случаев синхронизаторы применяются для включения высших передач, а низшие и передачи заднего хода включаются обычными зубчатыми или кулачковыми муфтами и шестернями – каретками. В составных КП синхронизаторы, как правило, применяются только в основной диапазонной коробке, а в редукторах переключения диапазонов - муфты или каретки.

Синхронизаторы обычно устанавливают на наиболее часто используемые передачи. На тракторах МТЗ - 100(102) синхронизаторы установлены в диапазонной КП.

К синхронизаторам предъявляются следующие требования:

- ***высокая эффективность действия***, обеспечивающая малое время синхронизации;
- ***высокая износостойкость*** трущихся поверхностей и ***достаточная прочность*** деталей, воспринимающих нагрузки;
- ***малые габариты*** конструкции.

Синхронизаторы классифицируются: по принципу действия - на простые и инерционные; ***по конструктивному исполнению*** - на конусные и дисковые; ***по принципу обслуживания передач*** - на индивидуальные и центральные.

Простые синхронизаторы не препятствуют включению передачи до полного выравнивания угловых скоростей соединяемых деталей КП, что обычно сопровождается появлением ударных нагрузок и шума.

Инерционные синхронизаторы получили наибольшее распространение в КП автомобилей, тракторов и быстроходных гусеничных машин, так как имеют устройство блокировки для безударного и бесшумного включения передачи.

Конусные и дисковые синхронизаторы отличаются друг от друга исполнением фрикционного элемента. В современных КП наибольшее распространение получили конусные синхронизаторы.

Индивидуальный синхронизатор служит для включения только одной передачи, если он одностороннего действия, и двух передач, когда он двухстороннего действия. В современных КП автомобилей, тракторов и быстроходных гусеничных машин они получили самое широкое распространение.

Центральный синхронизатор КП один обслуживает все передачи. Его применяют в КП с разрезными валами, где включение какой-либо передачи сопровождается включением одновременно нескольких зубчатых муфт. Такие КП не получили применения в современных автомобилях и тракторах. Центральный синхронизатор более сложен по конструкции, дорог и имеет большие габаритные размеры.

1.2. Простые синхронизаторы

Простой синхронизатор состоит из двух основных элементов:

- **выравнивающего** - фрикционного устройства, поглощающего энергию касательных сил инерции вращающихся масс;
- **включающего** - зубчатой муфты, включающей передачу.

Его устанавливают, как правило, на низших передачах. Применение простого синхронизатора на этих передачах вызвано тем, что именно на них реализуются большие передаточные числа. При этом приведенные к конусам синхронизатора инерционный и крутящий моменты сцепления (в случае его неполного выключения) достигают относительно больших значений, что существенно удлиняет процесс переключения передач из-за длительного буксования конусов. В этих условиях простой синхронизатор позволяет включить передачу за короткий промежуток времени с неполным выравниванием угловых скоростей соединяемых деталей.

Рассмотрим конструкцию простого синхронизатора (рис. 1.1). Муфта 3 включения установлена на зубчатом венце подвижной ступицы 4 синхронизатора и в нейтральном положении относительно него удерживается шариковыми фиксаторами. Шарики 2 фиксаторов находятся во внутренней проточке муфты 3 и нагружены пружинами 9. Внутренняя поверхность ободов зубчатого венца ступицы 4 выполнена в виде конусов. Конусы 5 крепятся к шестерням 7 с помощью кулачков (на чертеже не показаны) и стопорных колец 6. Для включения передачи муфта 3 при помощи вилки 1 перемещается из нейтрального положения

в сторону соответствующей шестерни 7 и с помощью фиксаторов увлекает за собой ступицу 4.

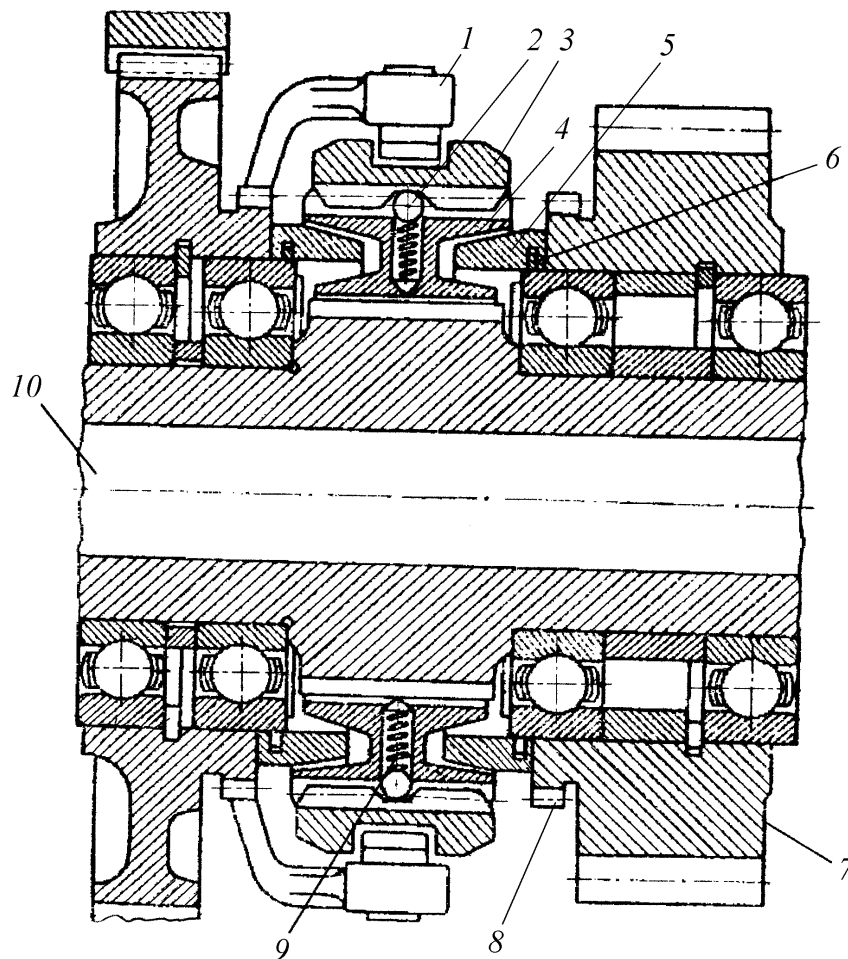


Рис. 1.1. Простой синхронизатор:

1 - вилка; 2 - шарик фиксатора; 3 - муфта; 4 - ступица; 5 - конус; 6 - стопорное кольцо; 7 - шестерня; 8 - зубчатый венец шестерни; 9 - пружина; 10 - ведущий вал

Конусные поверхности ступицы 4 и конуса 5, представляющие собой выравнивающий элемент синхронизатора, сжимаются и за счет трения между ними происходит выравнивание угловых скоростей вала 10 и шестерни 7. При дальнейшем перемещении муфты 3 шарики 2 фиксаторов утапливаются в радиальные отверстия ступицы 4 и муфта 3 входит в зацепление с зубчатым венцом 8 шестерни 7, соединяя ее с валом 10.

Если к муфте 3 при включении передачи приложить усилие, сразу превышающее сопротивление шариков фиксаторов, то она подойдет к зубчатому венцу шестерни до выравнивания их угловых скоростей и произойдет включение передачи с ударом зубьев.

Необходимо отметить, что в простом синхронизаторе фиксаторы являются основным элементом конструкции, так как задают усилие на конусных поверхностях трения.

1.3. Инерционные синхронизаторы

Инерционный синхронизатор состоит из трех основных элементов:

- **выравнивающего и включающего**, как у простого синхронизатора;

- **блокирующего** - устройства, препятствующего включению зубчатой муфты до полного выравнивания угловых скоростей соединяемых деталей, чем обеспечивается безударное и бесшумное включение передачи.

Рассмотрим некоторые конструкции синхронизаторов, применяемые в КП современных тракторов и автомобилей.

На рис. 1.2 представлен инерционный синхронизатор, получивший широкое распространение в КП автомобилей. На шлицах переднего конца вторичного вала 10 неподвижно закреплена ступица 8 синхронизатора, на зубчатом венце которой установлена муфта 3 включения, управляемаявилкой 4. Зубчатый венец прорезан тремя продольными пазами 9, в которые установлены ползуны 7. Последние имеют в средней наружной части выступы, а на внутренней стороне - проточки в виде паза.

Ползуны 7 своими выступами прижаты к кольцевой проточке внутренней поверхности муфты 3 двумя пружинными кольцами 5, отогнутые концы которых заведены в паз одного из ползунов. Тем самым осуществляется упругая фиксация ползунов 7 в средней части муфты 3 при нейтральном ее положении.

С обеих сторон ступицы 8 синхронизатора установлены латунные блокирующие кольца 2 с зубчатыми венцами и торцами с тремя продольными пазами 11. Ширина последних больше, чем пазов 9 ступицы 8 на 1/2 шага зубьев. В пазы колец 2 входят концы ползунов 7, чем обеспечивается их совместное вращение.

На внутренней конической поверхности блокирующих колец 2 нарезана резьба с мелким шагом, которая служит для разрушения масляной пленки и увеличения коэффициента трения между конусами блокирующих колец и наружной конической поверхностью ступиц зубьев шестерен 1 и 6. На ступицах шестерен 1 и 6 нарезаны зубья, такие же, как и на зубчатых венцах ступицы 8 и колец 2. Торцы зубьев шестерен

и блокирующих колец, обращенные к ступице 8, имеют скосы, что облегчает введение их в зацепление с муфтой 3, торцы зубьев которой также имеют скосы.

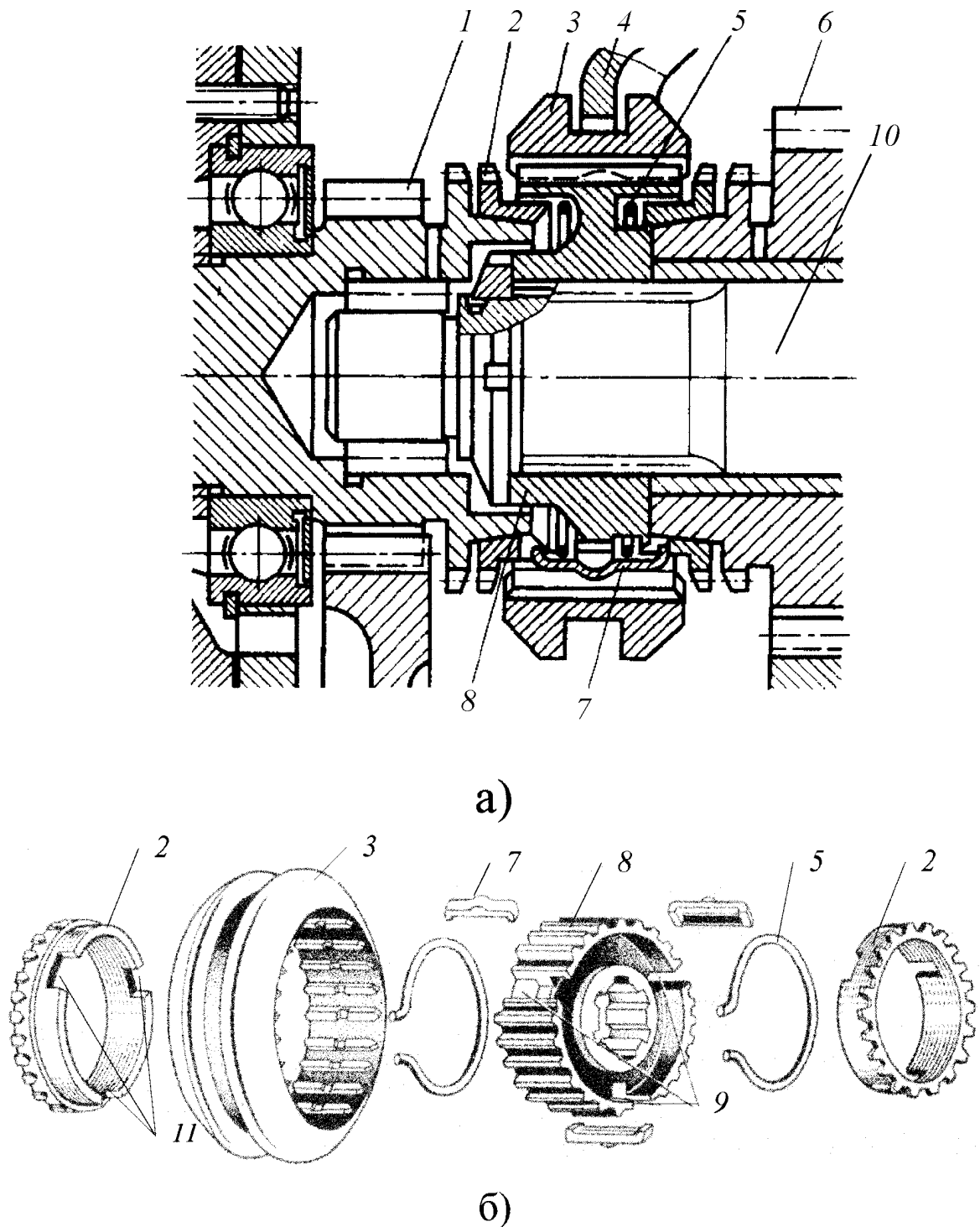


Рис. 1.2. Инерционный синхронизатор:

а - конструкция; *б* - детали; 1 - шестерня ведущего вала; 2 - конусное блокирующее кольцо; 3 - муфта; 4 - вилка; 5 - пружинное кольцо; 6 - шестерня передачи; 7 - ползун; 8 - ступица; 9 - продольные пазы в ступице; 10 - вторичный вал КП; 11 - пазы в торце блокирующего кольца

Для включения передачи муфта 3, перемещаемаявилкой 4, движется вместе с ползунами 7, которые, упираясь в одно из блокирующих колец 2, перемещают его к конусу шестерни 1, если включается прямая передача, или к конусу шестерни 6, если включается пониженная передача. Под действием возникшей силы трения между конусами кольцо 2 поворачивается на некоторый угол относительно ступицы 8, так как между ползунами 7 и пазами 11 есть зазор. При этом торцовые скосы зубьев кольца 2 не позволяют муфте 3 войти в зацепление с зубчатым венцом на ступицах шестерен 1 или 6 и прижимают соответствующее блокирующее кольцо 2 к конусу шестерни.

Так как угловые скорости вала 10 и шестерен 1 или 6 разные, на торцовых скосах зубьев кольца 2 и муфты 3 возникает осевая сила, препятствующая ее дальнейшему перемещению. При этом углы скосов зубьев выбраны так, что до выравнивания угловых скоростей вала 10 и шестерен 1 или 6, поворот муфты 3 относительно блокирующего кольца 2 для дальнейшего ее перемещения невозможен независимо от приложенной к ней осевой силы.

Так как при переключении передачи фрикционное сцепление выключено и вал 10 с шестерней 1 или 6 вращается только по инерции, то угловая скорость последнего уменьшается за счет сил трения конусов синхронизатора до значения, равного совместной угловой скорости вала 10 и муфты 3. При этом на скосах зубьев кольца 2 и муфты 3 уменьшается осевая сила сопротивления ее перемещению. Для дальнейшего передвижения муфты 3 необходимо преодолеть сопротивление центральных выступов ползунов 7, подпираемых пружинными кольцами 5. Тогда, продолжая давить муфтой 3 на скосы зубьев кольца 2, она поворачивается вместе с валом 10 на необходимый угол, обеспечивающий дальнейшее перемещение муфты 3 и ее последовательное соединение с зубьями кольца 2 и зубьями ступицы шестерни 1 или 6.

Таким образом, первичный и вторичный валы КП жестко соединяются между собой, что соответствует включению соответствующей передачи.

На рис. 1.3,а представлена другая конструкция инерционного синхронизатора. Он состоит из подвижной включающей муфты 1 с зубчатыми венцами 6, которая устанавливается на шлицах ведомого вала КП. Диск муфты 1 имеет по три отверстия для полуцилиндров 5 фиксаторов, соединяющих его с двумя конусными кольцами 2, и по три отверстия с фасками для блокирующих пальцев 3, жестко связывающих конусные кольца. Между двумя полуцилиндрами 5 фиксатора расположены две пружины 4.

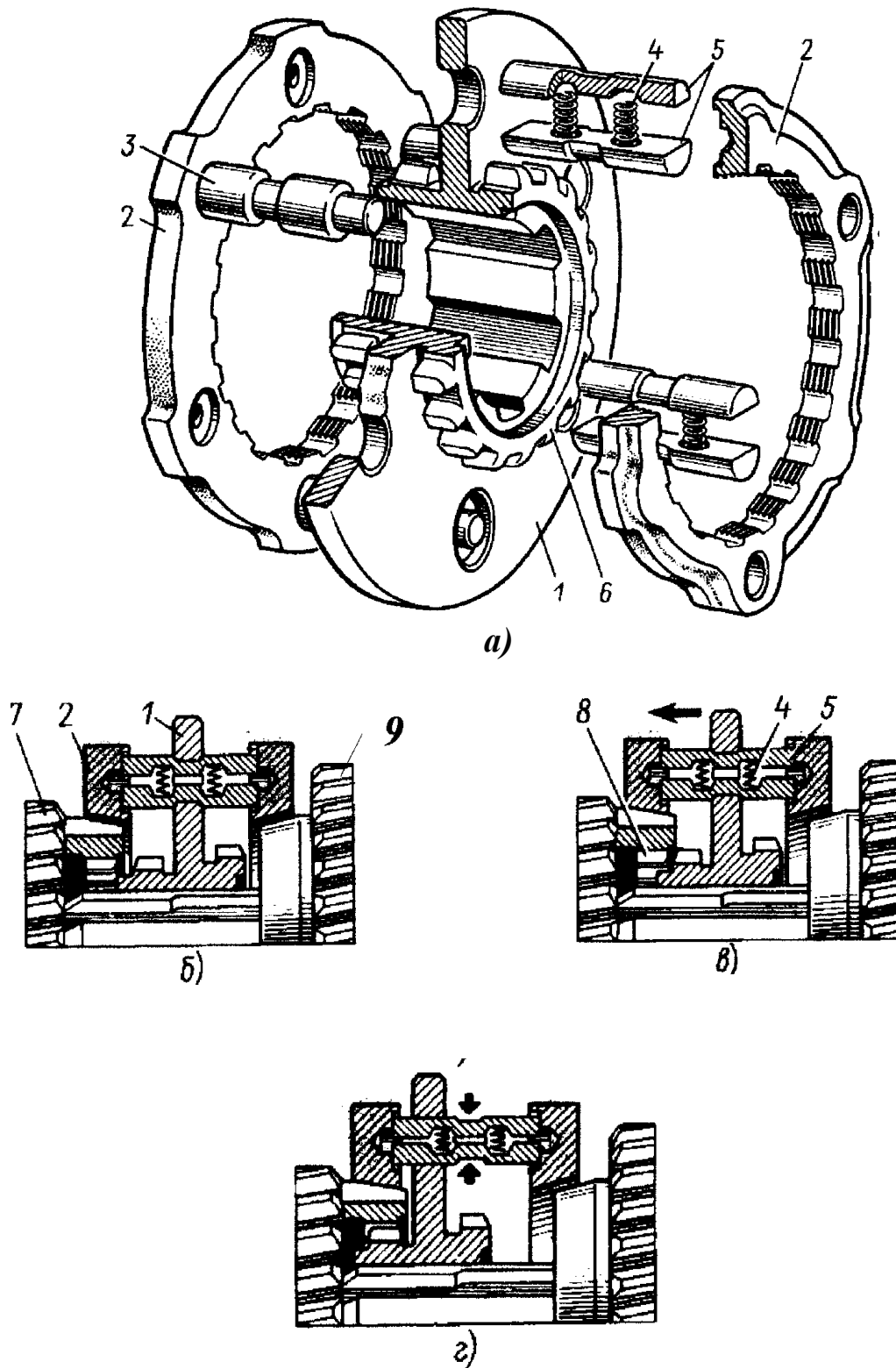


Рис. 1.3. Инерционный синхронизатор:

1 - муфта синхронизатора; 2 - конусное кольцо; 3 - блокирующий палец; 4 - пружина; 5 - полуцилиндры; 6 - зубчатый венец муфты; 7 и 9 - шестерни; 8 - внутренний зубчатый венец шестерни

В нейтральном положении (рис. 1.3,б) муфта 1 расположена посередине между шестернями 7 и 9. При включении передачи муфта 1,

перемещая полуцилиндры 5 фиксаторов, прижимает конусное кольцо 2 к конусу шестерни 7 (рис. 1.3,в). Муфта 1, соединенная с ведомым валом, и шестерня 7, связанная с промежуточным валом КП, вращаются с разными угловыми скоростями. За счет трения между коническими поверхностями кольцо 2 проворачивается относительно диска муфты 1 до соприкосновения блокирующих конусных фасок отверстий диска с блокирующими пальцами 3. В результате происходит блокировка муфты 1. При выравнивании угловых скоростей шестерни 7 и муфты 1 последняя перемещается дальше, сжимая при этом пружины 4 полуцилиндров 5 фиксаторов, а ее зубья входят в зацепление с внутренним зубчатым венцом 8 шестерни 7 (рис. 1.3,г).

Аналогичные конструкции синхронизаторов (рис. 1.4) применяют в КП трактора МТЗ - 100(102) и ЯМЗ. Как и в рассмотренной выше конструкции в качестве элементов блокировки используются конический поясик в отверстиях 7 диска подвижной включающей муфты 1 и блокирующие пальцы 4, входящие в указанные отверстия. Пальцы 4 жестко связаны с конусными кольцами 2. Здесь применена другая конструкция

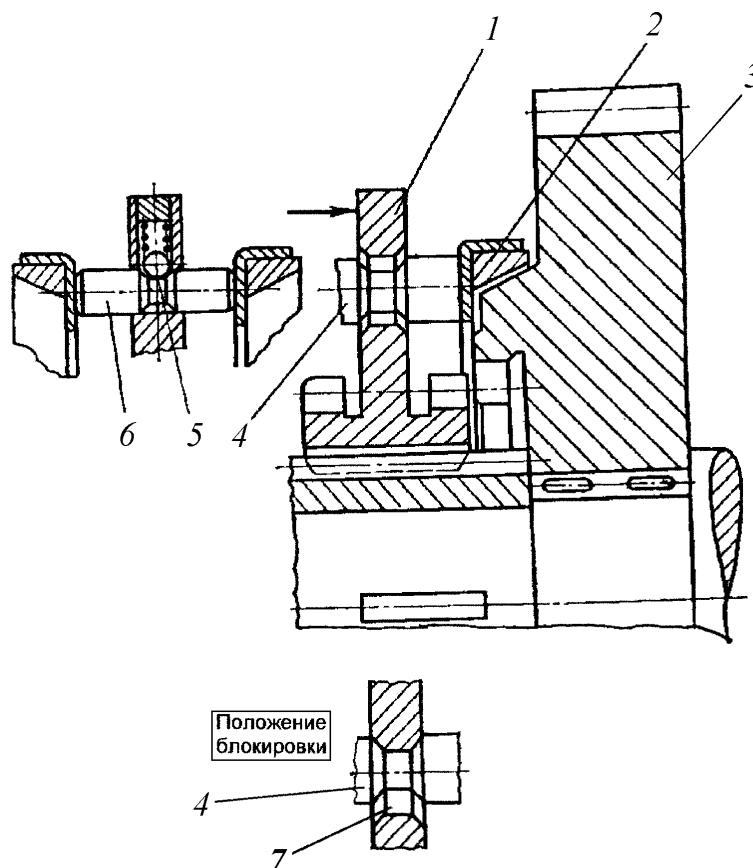


Рис. 1.4. Синхронизатор КП трактора МТЗ-100 (102) и ЯМЗ:

1 - муфта; 2 - кольцо; 3 - шестерня; 4 - блокирующий палец; 5 - шарик; 6 - палец фиксатора; 7 - отверстия в диске муфты

фиксатора, который состоит из пальцев *б* с центральной кольцевой проточкой, связывающих с помощью подпружиненных шариков *5* муфты *1* и кольца *2*. Работа синхронизатора аналогична рассмотренной выше.

В конструкции, представленной на рис. 1.5, элементы трения выполнены в виде конических поверхностей на подвижной включающей зубчатой муфте *1* и блокирующем кольце *2*. В качестве элементов блокировки используются внутренние зубья блокирующего кольца *2* и торцевые участки зубьев, нарезанные на ступице шестерни *3*. Шестерня *3* и блокирующее кольцо *2* упруго связаны между собой в осевом направлении с помощью сжатой пружины *4*, удерживаемой стопорным разрезным кольцом *5*. Это способствует установке деталей конструкции в исходное нейтральное положение и, одновременно, не препятствует блокировке кольца *2*, его разблокировке и включению передачи.

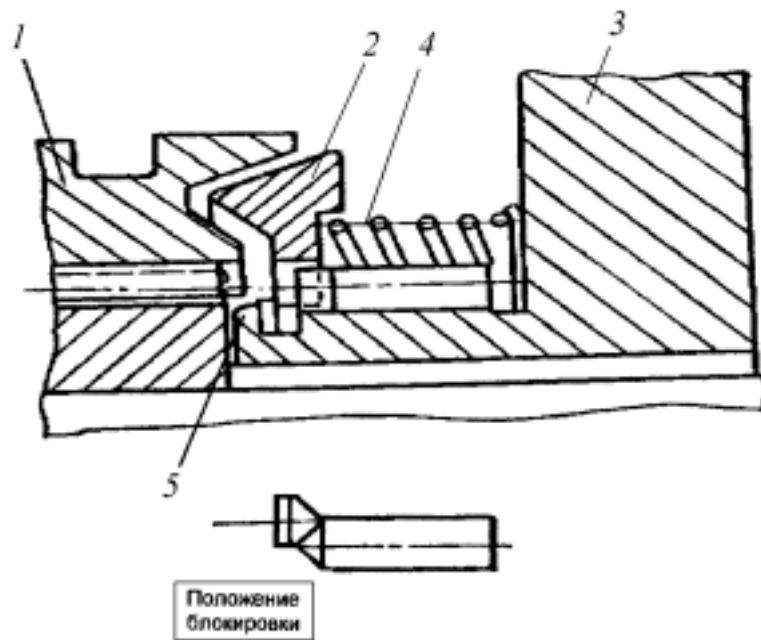
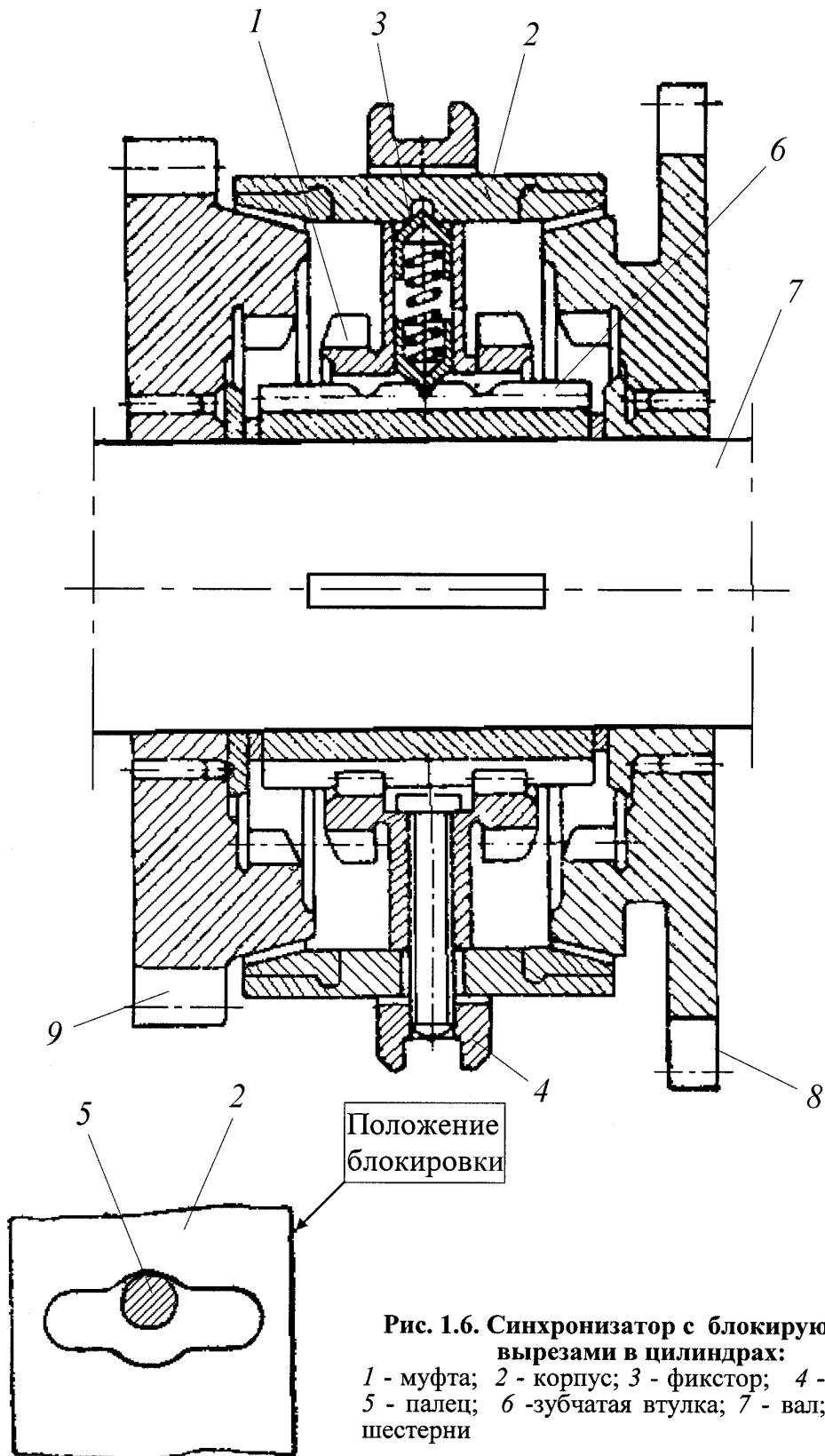


Рис.1.5. Синхронизатор ВАЗ:

1 - муфта; *2* - блокирующее кольцо; *3* - шестерня; *4* - пружина; *5* - стопорное кольцо

Синхронизатор работает в такой последовательности:
 сближаются конусные поверхности трения муфты *1* и блокирующего кольца *2*;
 блокируется кольцо *2* и, следовательно, муфта *1*;
 выравниваются угловые скорости муфты *1* и шестерни *3*;
 разблокируется кольцо *2* и муфта *1*, перемещаясь в осевом направлении, включается на полную длину зубьев.

Конструкция синхронизатора на рис. 1.6 отличается от ранее рассмотренных в основном устройством блокирующего элемента. Корпус 2 синхронизатора выполнен в виде цилиндра с внутренними конусами на



торцах, смонтирован на диске включающей муфты 1 и удерживается на нем конусными фиксаторами 3, размещенными в радиальных отверстиях диска. Муфта 1 установлена на зубчатой втулке 6 вала 7 и перемещается с помощью кольца 4 и пальцев 5.

В начальный момент включения передачи муфта 1 перемещает корпус 2 синхронизатора с помощью фиксаторов 3. При соприкосновении соответствующих конусных поверхностей ступиц шестерен 8 и 9 и корпуса 2, последний повернется относительно муфты 1 и пальцы 5 попадут во впадины фигурных направляющих вырезов на боковой поверхности цилиндра. При этом корпус 2 будет прижиматься к пальцам, не давая последним перемещаться в осевом направлении. С этого момента сила нажима будет передаваться на корпус 2 и конусные пары трения. При выравнивании угловых скоростей соединяемых деталей сила сопротивления перемещению муфты 1 уменьшается, пальцы 5, выходя из впадин направляющих вырезов, повернут корпус 2 и муфта 1 войдет в зацепление с одним из внутренних зубчатых венцов на ступицах соответствующих шестерен.

На рис. 1.7 представлена конструкция дискового инерционного синхронизатора с блокирующими пальцами. Принцип работы этой конструкции аналогичен, рассмотренной на рис. 1.4. Здесь выравнивающий элемент синхронизатора выполнен не в виде конусной, а в виде многодисковой фрикционной муфты. Такие синхронизаторы не получили широкого распространения. Их иногда применяют в КП на тракторах большой мощности и большегрузных автомобилях для включения низших передач.

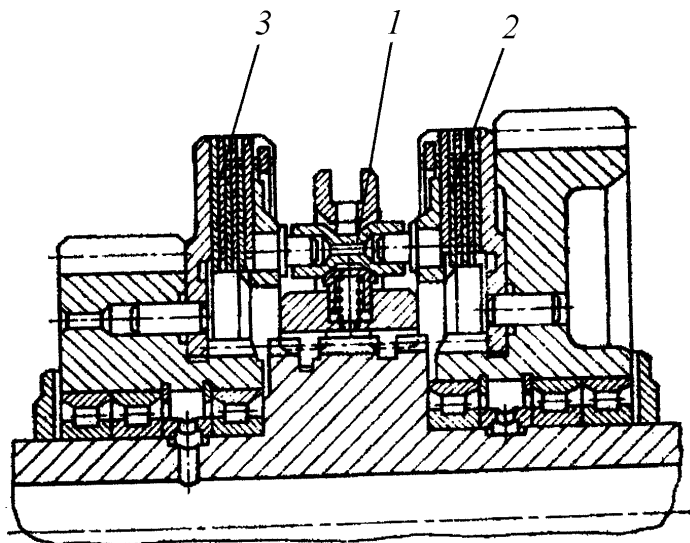


Рис. 1.7. Дисковый инерционный синхронизатор с блокирующими пальцами:
1 - блокирующий палец; 2 и 3 - многодисковые фрикционные муфты

Необходимо отметить, что фиксаторы в инерционных синхронизаторах выполняют вспомогательную роль и их пружины должны лишь обеспечивать центровку корпуса и задание начального момента трения в выравнивающем элементе для обеспечения поворота корпуса и включения блокирующего устройства синхронизатора.

2. РАСЧЕТ СИНХРОНИЗАТОРОВ

2.1. Расчет выравнивающего элемента синхронизатора

Выравнивание угловых скоростей соединяемых деталей при включении передачи с помощью синхронизатора (простого и инерционного) можно проиллюстрировать динамической системой (рис. 2.1).

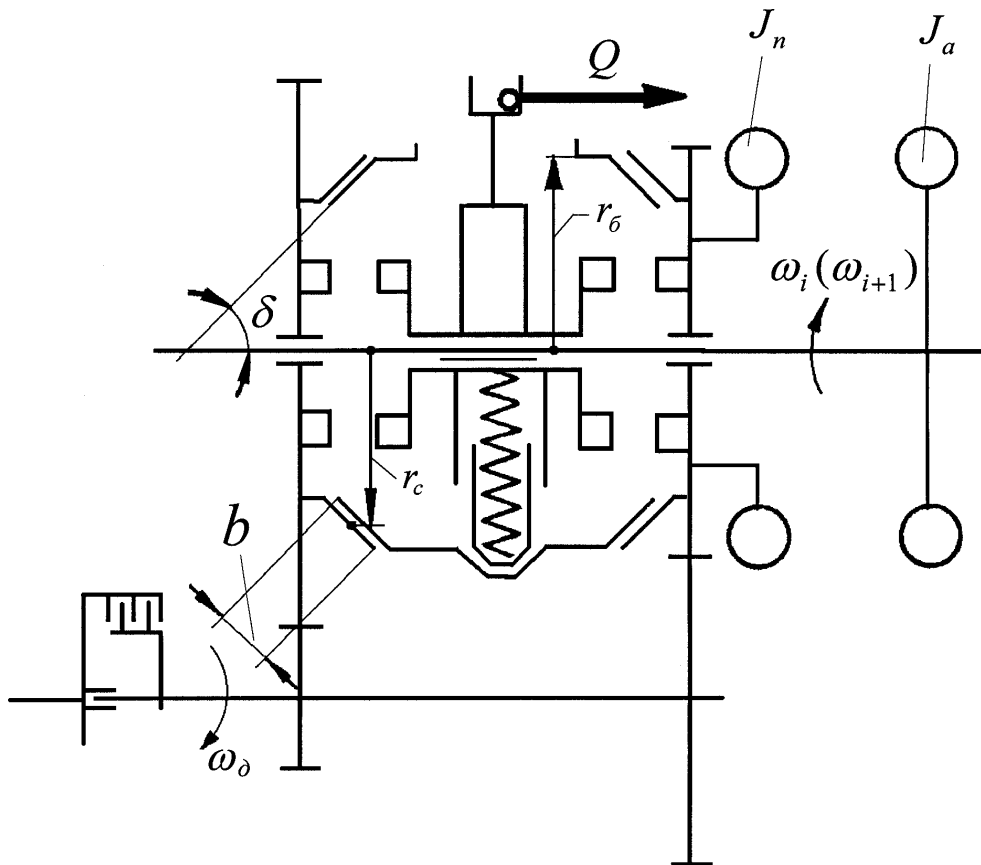


Рис. 2.1. Динамическая система для расчета синхронизатора:

J_n - суммарный приведенный момент инерции всех деталей, связанных с включаемой шестерней (ведомый диск, шестерни, валы); J_a - момент инерции всех деталей, связанных с валом, на котором установлен синхронизатор (включая момент инерции поступательно движущихся частей машины); ω_δ - угловая скорость вала двигателя; ω_i - угловая скорость ведомого вала на i передаче в коробке передач; ω_{i+1} - угловая скорость ведомого вала на $(i + 1)$ передаче; Q - усилие, создаваемое водителем на при включении передачи; b - ширина кольца синхронизатора; r_c - средний радиус трения колец; r_δ - радиус расположения блокирующих элементов

Для выравнивания угловых скоростей соединяемых деталей необходимо на поверхностях конусов создать момент трения M_T .

Запишем уравнение динамики подсистемы с моментом инерции J_n .

$$J_n \frac{d\omega}{dt} = M_T. \quad (2.1)$$

Проинтегрируем выражение (2.1).

$$J_n \int_{\omega_i}^{\omega_{i+1}} d\omega = \int_0^{t_c} M_T d\tilde{t} \quad (2.2)$$

Здесь t_c - время выравнивания угловых скоростей соединяемых деталей (время синхронизации).

Принимая момент трения M_T постоянным в течение процесса синхронизации, получим

$$M_T = \frac{J_n (\omega_{i+1} - \omega_i)}{t_c}. \quad (2.3)$$

Здесь $\omega_i = \omega_\delta / u_i$; $\omega_{i+1} = \omega_\delta / u_{i+1}$, где ω_δ - угловая скорость вала двигателя (см. рис. 2.1); u_i и u_{i+1} - передаточное число коробки передач соответственно на i и $i+1$ передачах.

После подстановки ω_i и ω_{i+1} в выражение (2.3) получим

$$M_T = \frac{J_n \omega_\delta}{t_c} \left(\frac{1}{u_{i+1}} - \frac{1}{u_i} \right). \quad (2.4)$$

Момент трения M_T , создаваемый на конусных поверхностях, выразим через нормальную силу F_n на поверхностях трения (рис. 2.2).

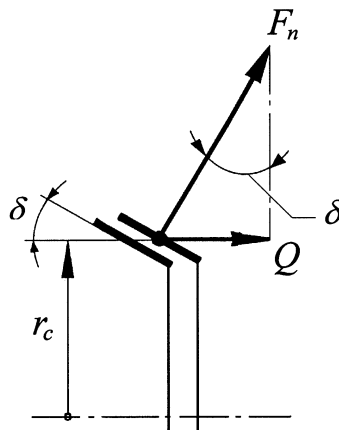


Рис. 2.2. Схема сил, действующих на поверхностях трения колец синхронизатора

$$M_T = F_n f r_c, \quad (2.5)$$

где f - коэффициент трения; r_c - средний радиус трения; F_n - нормальная сила на поверхности трения.

Выразим F_n через усилие Q , создаваемое водителем для включения передачи.

$$F_n = Q / \sin \delta.$$

Тогда после подстановки F_n в выражение (2.5) получим

$$M_T = \frac{Q f r_c}{\sin \delta}. \quad (2.6)$$

Приравнивая правые части выражений (2.4) и (2.6) определим необходимое усилие Q , создаваемое водителем на муфте синхронизатора.

$$Q = \frac{M_T \sin \delta}{f r_c} = \frac{J_n \omega_\delta \sin \delta}{f r_c t_c} \left(\frac{1}{u_{i+1}} - \frac{1}{u_i} \right). \quad (2.7)$$

Из выражения (2.7) следует, что усилие Q обратно пропорционально времени синхронизации t_c и плотности ряда скоростей в коробке передач.

В реальных конструкциях $t_c \leq 2c$.

Обычно при расчетах принимают:

- для легковых автомобилей $t_c = 0,3 \dots 1 c$;
- для грузовых автомобилей, тракторов и быстроходных гусеничных машин $t_c = 0,5 \dots 2 c$.

Большее значение t_c соответствует низшим передачам.

При расчетах синхронизаторов коробок передач тракторов и быстроходных гусеничных машин можно принимать $\omega_\delta = \omega_{\delta n}$, где $\omega_{\delta n}$ - угловая скорость вала двигателя на номинальном режиме.

Для автомобилей ориентировочные значения ω_δ представлены в табл. 2.1.

2.1. Ориентировочные соотношения для вычисления ω_δ , соответствующей началу переключения передачи

Переключение передачи	Бензиновые двигатели автомобилей		Дизель грузового автомобиля
	легкового	Грузового	
С низшей на высшую	$\omega_\delta = (0,6 \dots 0,7) \omega_N$	$\omega_\delta = (0,7 \dots 0,8) \omega_N$, но не менее $\omega_{\delta m}$	$\omega_\delta = (0,75 \dots 0,85) \omega_N$
С высшей на низшую	$\omega_\delta = (0,4 \dots 0,5) \omega_N$	$\omega_\delta = (0,5 \dots 0,6) \omega_N$, но не менее $\omega_{\delta m}$	$\omega_\delta = (0,9 \dots 1,0) \omega_{\delta m}$

ω_N и $\omega_{\delta m}$ - угловая скорость вала двигателя соответственно при максимальной мощности и максимальном моменте.

Работа, затрачиваемая на выравнивание угловых скоростей (на поглощение кинетической энергии вращающихся деталей):

$$L_c = 0,5 J_n (\omega_{i+1} - \omega_i)^2 = \\ = 0,5 J_n \omega_d^2 \left(\frac{1}{u_{i+1}} - \frac{1}{u_i} \right)^2.$$

Из представленного выражения следует, что работа трения (работа буксования) синхронизатора не зависит от времени синхронизации t_c .

Работоспособность синхронизатора в настоящее время принято оценивать по величине удельной работы трения (буксования)

$$l_c = L_c / A_a \leq [l_c]. \quad (2.8)$$

Здесь l_c - удельная работа буксования синхронизатора; A_a - площадь поверхности трения; $[l_c]$ - допускаемая удельная работа буксования синхронизатора.

Для синхронизаторов высших передач $[l_c] = 0,2 \text{ МДж/м}^2$, а для низших передач $[l_c] = (0,3 \dots 0,5) \text{ МДж/м}^2$.

Необходимая ширина кольца синхронизатора из условия ограничения давления по образующей конуса (рис. 2.1)

$$b = \frac{M_T}{2\pi f r_c^2 [p]},$$

где $[p]$ - допускаемое давление на поверхности трения, площадь которой A_a определяется в предположении отсутствия на ней канавок. Для пары сталь – бронза $[p] = 1 \dots 1,5 \text{ МПа}$. В реальных конструкциях синхронизаторов давление на поверхностях трения колец $p = 0,4 \dots 1,4 \text{ МПа}$.

Одна из конструкций фрикционных колец синхронизатора показана на рис. 2.3.

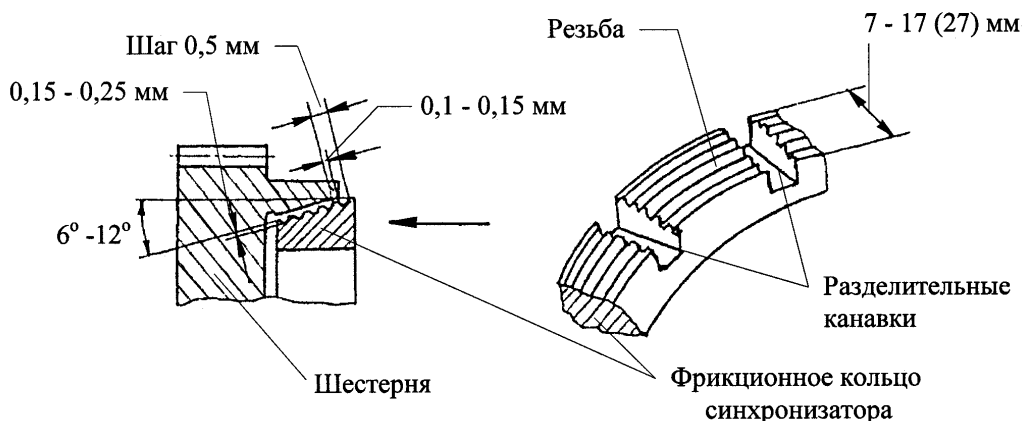


Рис. 2.3. Фрикционное кольцо конического синхронизатора

Из применяемых для колец синхронизаторов материалов наиболее распространенными являются латуни и стали с молибденовым покрытием. Влияние материала на износ колец синхронизатора показано на рис. 2.4, из которого следует, что наиболее перспективными для изготовления колец синхронизаторов являются стали с молибденовым покрытием.

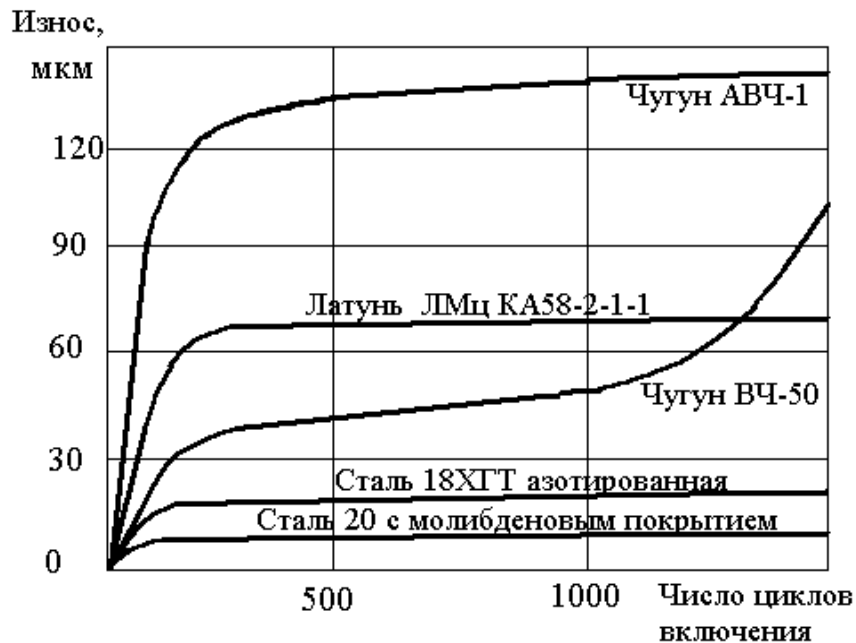


Рис. 2.4. Влияние материала на износ колец синхронизатора

Параметры колец синхронизаторов выбирают в следующих пределах: $f = 0,06 \dots 0,1$; $\delta = 6^\circ \dots 12^\circ$.

2.2. Расчет блокирующего устройства

Блокировка осуществляется блокирующими устройствами, препятствующими включению передачи до полного выравнивания угловых скоростей соединяемых деталей.

Рассмотрим схемы наиболее часто применяемых блокирующих устройств (рис. 2.5).

Окружная сила, прижимающая блокирующие элементы,

$$F_T = M_T / r_6 ,$$

где r_6 - радиус расположения блокирующих элементов.

Эта сила вызывает реакцию F_x на блокирующих поверхностях (рис. 2.5).

$$F_x = \frac{M_T}{r_0 \operatorname{tg} \beta} \quad (2.9)$$

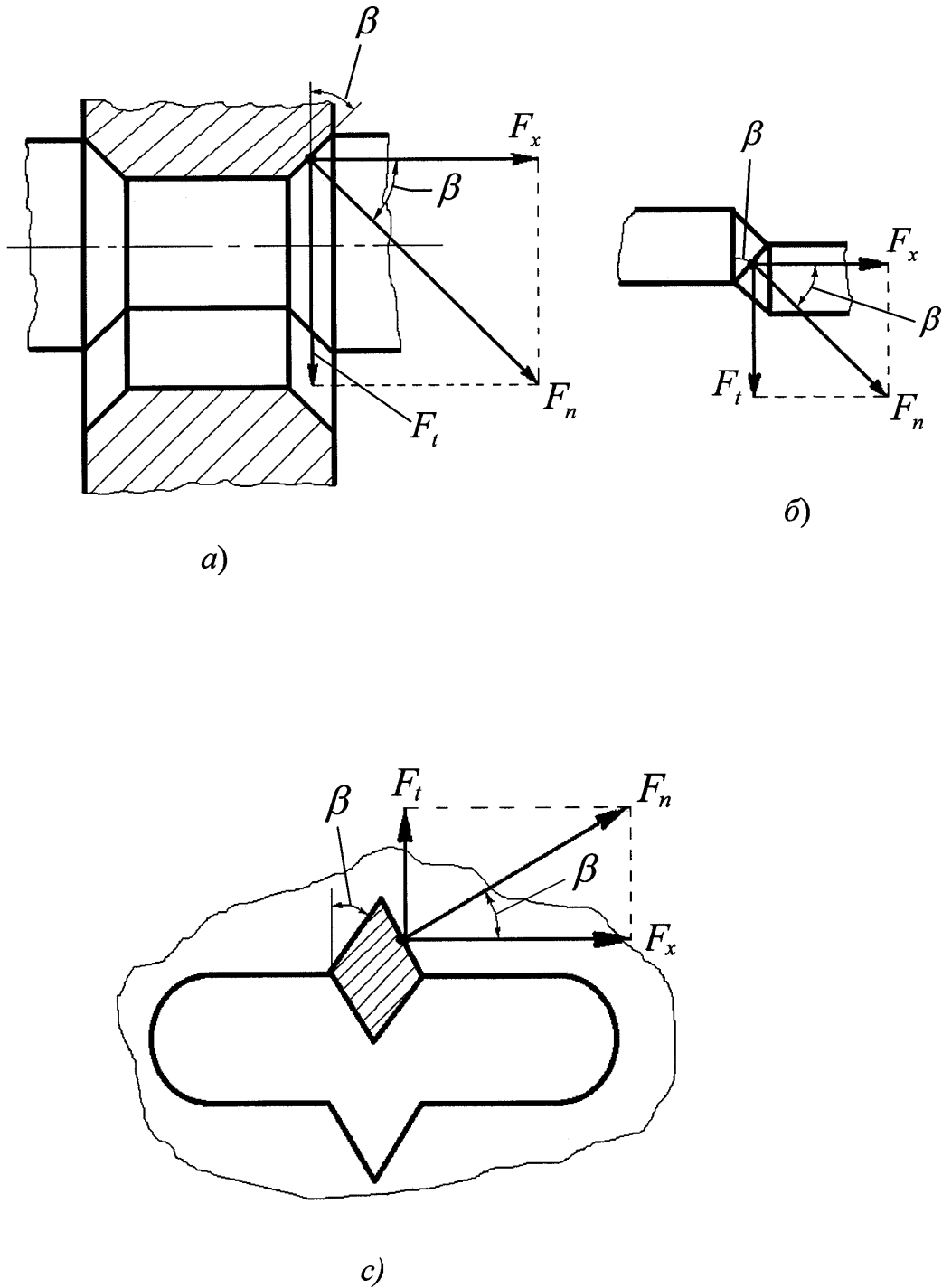


Рис. 2.5. Схемы блокирующих устройств синхронизаторов:
a - с блокирующими пальцами; *б* - с блокирующими зубьями; *с* - с блокирующими
 вырезами в цилиндрах

Если пренебречь силами трения на блокирующих поверхностях синхронизатора, то для исключения возможности включения передачи

до полного выравнивания угловых скоростей должно соблюдаться условие:

$$Q < F_x, \quad (2.10)$$

где Q - сила, приложенная к муфте синхронизатора (см. рис. 2.1).

Из анализа выражений (2.6) и (2.9) следует, что при увеличении силы Q увеличивается момент трения M_T синхронизатора, а, следовательно - реакция F_x .

Тогда из выражения (2.10) с учетом (2.6) и (2.9) получим

$$\operatorname{tg} \beta < \frac{f r_c}{r_o \sin \delta}. \quad (2.11)$$

С учетом трения на блокирующих поверхностях

$$\operatorname{tg} \beta < \frac{f r_c + f_1 r_o \sin \delta}{r_o \sin \delta - f f_1 r_c}. \quad (2.12)$$

Здесь f_1 - коэффициент трения на блокирующих поверхностях синхронизатора (учитывая большое давление и смазку их маслом при расчете принимают $f_1 = 0,1$).

По выражению (2.12) угол β несколько больше, чем определяемый без учета потерь на трение на блокирующих поверхностях по выражению (2.11).

В существующих конструкциях инерционных синхронизаторов $\beta = 25^\circ \dots 42^\circ$.

2.3. Расчет зубчатой муфты

Зубчатые муфты выполняют с прямыми зубьями, имеющими эвольвентный профиль. Для зубчатых муфт синхронизаторов коробок передач легковых автомобилей модуль $m = 2,0 \dots 2,5$ мм; для грузовых автомобилей, тракторов и быстроходных гусеничных машин $m = 2,5 \dots 5,0$ мм.

Величину делительного диаметра d_w зубчатого венца и параметры зубьев выбирают по конструктивным соображениям. Необходимая ширина зуба l предварительно определяется из условия ограничения напряжений смятия на рабочих поверхностях.

$$l = \frac{2 M_p}{d_w z h [\sigma]_{cm}},$$

где M_p - расчетный крутящий момент (момент, передаваемый зубчатой муфтой на низшей передаче, на режиме максимального момента

двигателя); d_w - делительный диаметр зубчатого венца муфты; z - число зубьев; h - активная высота зуба; $[\sigma]_{см} = 20...40 \text{ МПа}$ - допускаемое напряжение смятия. Меньшее значение $[\sigma]_{см}$ принимают для зубчатых муфт синхронизаторов высших передач, а большее – для низших передач.

$$d_w = m z .$$

$$h = 0,5(D - d) - f_M - f_K .$$

Здесь D и d - соответственно наружный и внутренний диаметры зубьев; f_M и f_K - размеры фасок зубьев муфты и ступицы зубчатого венца шестерни.

Параметры зубчатых муфт некоторых коробок передач приведены в табл. 2.2, а параметры синхронизаторов в целом - в табл. 2.3.

2.2. Параметры зубчатых муфт коробок передач механических трансмиссий

Передача	Параметр				
	$D, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	$l, \text{ мм}$	$m, \text{ мм}$	z
1	2	3	4	5	6
ЗА3 - 968					
Высшая	82	79	3	2	42
Низшая	82	79	3	2	42
ВАЗ - 2101					
Высшая	62	56,5	12	2	30
Низшая	62	56,5	12	2	30
Москвич - 2140					
Высшая	62	57	4	2	30
Низшая	62	57	4	2	30
ГАЗ - 24					
Высшая	70,5	65	4,5	2	33
Низшая	76,5	70	4,5	2	36
ГАЗ - 53А					
Высшая	81	75	5,5	2,5	30
Низшая	67,5	60	6	3,75	16
ЗИЛ - 130					
Высшая	64,3	57	7	3,5	18
Средняя	84,3	77	7	3,5	23
ЯМЗ - 236Н					
Высшая	79,4	71,4	9	4,25	18
Средняя	131,5	123,5	9	4,25	30
КамАЗ, тип 15					
Высшая	94	86	6,5	4,5	20
Средняя	122,5	115,5	6,5	4	30
Низшая	124	115,5	9	5	24
Дополнительный редуктор	94	86	6,5	4,5	20

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
ЯМЗ - 238А					
Высшая	79,4	71,4	9	4,25	18
Средняя	131,5	123,5	9	4,25	30
Низшая	131,5	123,5	9	4,25	30
Дополнительный редуктор	94	86	13,5	5	18
Volvo "R61"					
Высшая	158,25	153,74	5	3,25	48/33
Низшая	170,25	165,7	4,1	3,5	48/36
Дополнительный редуктор	191,6	186,1	5,2	4	48/36
ZF "5S - 110GP"					
Высшая	157,4	151,5	5	3,5	45/33
Низшая	157,4	151,5	5	3,5	45/33
Средняя	143	135	5	5	27
Дополнительный редуктор	191,5	186,1	5	5	63/51

2.3. Основные размеры и параметры инерционных синхронизаторов коробок передач механических трансмиссий

Модель коробки передач	Передача, ступень	r_c , мм	b , мм	r_o , мм	β , °	M_T , * Н·м
1	2	3	4	5	6	7
ВАЗ-2101	Первая	37	7	29	42	4,98
	Вторая	37	7	29	42	4,98
	Третья	37	7	29	42	4,98
	Четвертая	37	7	29	42	4,98
Москвич - 2140	Первая	23	10	29,5	40	2,75
	Вторая	23	10	29,5	40	2,75
	Третья	23	10	29,5	40	2,75
	Четвертая	23	10	29,5	40	2,75
ГАЗ-24	Первая	30,5	9,5	37	35	4,61
	Вторая	30,5	9,5	37	35	4,61
	Третья	27,5	9,5	37	35	3,81
	Четвертая	27,5	9,5	37	35	3,81
ГАЗ-53	Третья	31	10	39	35	5,08
	Четвертая	31	10	39	35	5,08
ЗИЛ-130	Вторая	45,8	11	57	30	12,2
	Третья	45,8	11	57	30	12,2
	Четвертая	40	11	49	30	9,15
	Пятая	40	11	49	30	9,15
ЯМЗ-236Н	Вторая	75	16	80	26	47,2
	Третья	75	16	80	26	47,2
	Четвертая	59	16	65	26	29,2
	Пятая	59	16	65	26	29,2

Продолжение табл. 2.3

1	2	3	4	5	6	7
КамАЗ, тип 15	Вторая	92	17	82	30	75,7
	Третья	92	15	82	30	67,0
	Четвертая	65	15	75	30	33,4
	Пятая	57	15	75	30	25,7
	<i>Ступень:</i> низшая	63	17	70	30	35,6
	высшая	63	17	70	30	35,6
ZF “5S- 110GP”	Вторая	65	11	78	35	24,6
	Третья	65	11	78	35	24,6
	Четвертая	65	11	78	35	24,6
	Пятая	65	11	78	35	24,6
	<i>Ступень:</i> низшая	82,5	13,5	94	35	48,5
	высшая	82,5	13,5	94	35	48,5
Volvo “R61”	Первая	70	13	65	40	33,5
	Вторая	70	13	65	40	33,5
	Третья	64,5	11	60	40	24,1
	Четвертая	64,5	11	60	40	24,1
	<i>Ступень:</i> низшая	83,5	27,5	72	36	100
	высшая	75	17	72	36	50,4
* Значения M_T определены исходя из среднего давления $p = 1,4 \text{ МПа}$ и коэффициента трения $f = 0,06$.						

2.4. Расчет фиксатора

Фиксаторы в инерционном синхронизаторе выполняют вспомогательную роль. Они необходимы для центровки корпуса синхронизатора и задания начального усилия сжатия колец синхронизатора, что обеспечивает возникновение начального момента трения для поворота корпуса и последующее срабатывание блокирующего устройства.

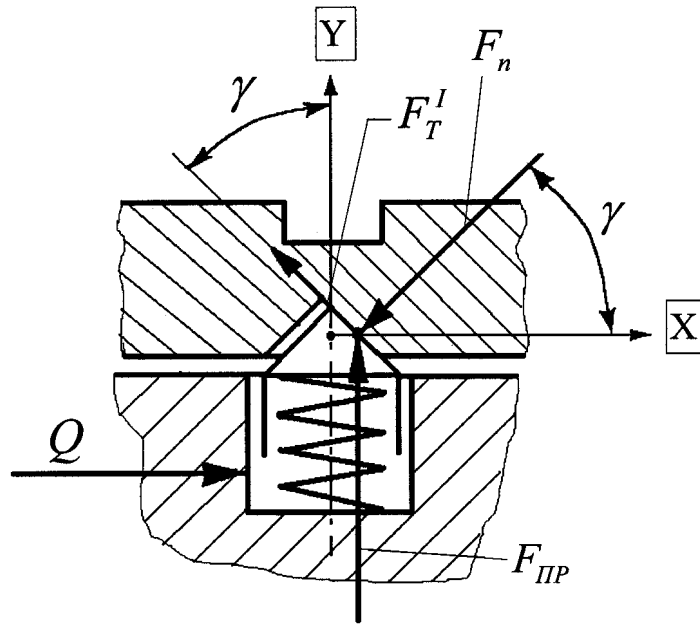
В простом синхронизаторе усилие Q сжатия колец передается только через фиксаторы. Пружины последних, противодействуя выталкиванию конусов (шариков) из канавки корпуса, обеспечивают прижатие трущихся поверхностей.

Расчетная схема фиксатора показана на рис. 2.6.

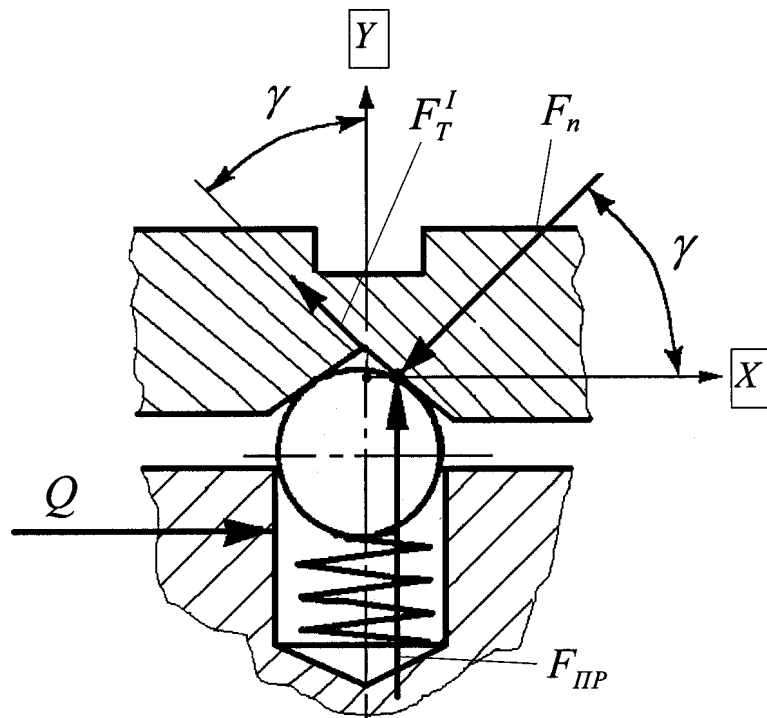
Допустим в начале, что усилие Q передается одним фиксатором конусного типа (см. рис. 2.6,а).

Спроектируем на ось X силы, действующие на конус.

$$\sum X = F_n \cos \gamma + F_T^I \sin \gamma - Q = 0, \quad (2.13)$$



а)



б)

Рис. 2.6. Расчетная схема фиксатора:
а - конусного; б - шарикового

где F_n - нормальная сила в контакте; F_T^I - сила трения; γ - угол канавки конуса.

Подставляя в выражение (2.13) вместо F_T^I ее значение, получим

$$F_n \cos \gamma + F_n f_2 \sin \gamma - Q = 0. \quad (2.14)$$

Здесь $f_2 = 0,05 \dots 0,07$ - коэффициент трения стали по стали в масле.

Определим из выражения (2.14) величину нормального усилия F_n .

$$F_n = \frac{Q}{\cos \gamma + f_2 \sin \gamma}. \quad (2.15)$$

Найдем сумму проекций всех сил на ось Y .

$$\sum Y = F_T^I \cos \gamma - F_n \sin \gamma + F_{\text{ПП}} = 0. \quad (2.16)$$

Подставляя в (2.16) вместо F_T^I ее значение и F_n из выражения (2.15), определим суммарное усилие $F_{\text{ПП}}$ пружин фиксатора.

$$F_{\text{ПП}} = Q \left(\frac{\sin \gamma - f_2 \cos \gamma}{\cos \gamma + f_2 \sin \gamma} - f_2 \right).$$

Учитывая, что в синхронизаторе используется несколько пружин, расчетное усилие одной пружины

$$F_{\text{ПП рас.}} = \frac{Q}{n} \left(\frac{\text{tg} \gamma - f_2}{1 + f_2 \text{tg} \gamma} - f_2 \right),$$

где n - число пружин.

Если в фиксаторе вместо конусов применяются шарики (рис. 2.6,б), то силой трения F_T^I можно пренебречь. Тогда для шарикового фиксатора

$$F_{\text{ПП рас.}} = Q \frac{\text{tg} \gamma}{n}.$$

В существующих конструкциях синхронизаторов $\gamma = 30^\circ \dots 35^\circ$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование трансмиссий автомобилей: Справочник/ Под. общ. ред. А. И. Гришкевича. - М.: Машиностроение, 1984. - 272 с.
2. Расчет и конструирование гусеничных машин/ Н. А. Носов, В. Д. Галышев, Ю. П. Волков, А. П. Харченко; Под ред. Н. А. Носова. - Л.: Машиностроение, 1972. - 560 с.
3. Осепчугов В. В., Фрумкин А. К. Автомобиль: Анализ конструкций, элементы расчета. - М.: Машиностроение, 1989. - 304 с.
4. Отрохов В. П. Создание системы модульных коробок передач грузовых автомобилей: Диссертация в виде научного доклада ... доктора техн. наук. - М., 1996. - 69 с.