

ВАРИАТОР НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ДЛЯ ТРАНСМИССИЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Н.В. Гулиа, И.А. Бессуднов



ГУЛИА
Нурбей Владимирович

Профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Детали машин» МГИУ. Специалист в области механических бесступенчатых и гибридных трансмиссий автомобилей, маховичных накопителей энергии. Автор более 500 научных работ, в том числе свыше 20 книг и 250 изобретений. Консультант ряда зарубежных фирм.

Введение

Современные вариаторы, применяемые для бесступенчатых коробок передач автомобилей, характеризуются следующими основными недостатками:

- низкими КПД и диапазонами варьирования передаточных отношений;
- невозможностью передачи больших мощностей и крутящих моментов;
- низкими понижающими и высокими повышающими передаточными отношениями;

трудностью или невозможностью их выполнения по планетарной схеме.

В автомобильных трансмиссиях наиболее распространены вариаторы с промежуточным гибким элементом – с металлическими наборными ремнями и цепями трения. Делаются попытки использования тороидального вариатора. Одним из лучших вариаторов, применяемых для автомобильных трансмиссий, является цепной вариатор трения, используемый в трансмиссии *Multitronic*. Диапазон регулирования передаточных отношений у него повышен с традиционных 4 до 6, но и этого недостаточно для того, чтобы автомобиль плавно трогался с места. К тому же, понижающее переда-



БЕССУДНОВ
Иван Александрович

Аспирант МГИУ, инженер-механик и экономист-менеджер. Генеральный директор ООО «Новые технологии обучения». Автор 5 научных работ.

точное отношение $i' = \sqrt{6} = 2,45$ слишком мало, а повышающее передаточное отношение $i'' = 0,41$ слишком велико для коробки передач, что требует применения дополнительных зубчатых передач. Выполнить передачу с промежуточным гибким элементом по планетарной схеме невозможно, хотя желательно в целях повышения КПД на экономичных режимах. Даже тороидальную передачу выполнить по планетарной схеме проблематично из-за неизбежного гироскопического эффекта.

В результате, КПД современных коробок передач с вариаторами обычно находится в пределах 0,85–0,9. При этом меньшее значение относится к режимам повышающих передач и разгонам – самым ответственным режимам работы автомобиля. Максимальный крутящий момент коленчатого вала двигателя, который способны воспринимать существующие автомобильные вариаторы, обычно недостаточен для мощных дизелей легковых автомобилей, а тем более – для автобусов, тягачей и грузовых машин.

В Московском государственном индустриальном университете (МГИУ) под руководством д.т.н., профессора *Н.В. Гулиа* с 1985 г. проводятся исследования и разработка вариаторов для автомобильных трансмиссий. Работы включали теоретические разработки, расчёт, проектирование, изготовление и испытания опытных образцов. К работам привлекались ведущие специалисты России по машиноведению, трибологии, автомобильным трансмиссиям.

Целью создания вариатора новой концепции (супервариатора) являлось повышение КПД всей коробки передач на его основе до 0,98 для наиболее экономичных режимов движения автомобиля, но не менее 0,95 даже в наименее эффективных режимах. Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

диапазон варьирования передаточного отношения $D = i' / i''$ должен быть не менее 10–12 (например, при повышающем передаточном отношении $i'' = 0,64$ и понижающем передаточном отношении $i' = 6,4 - 7,7$

параметр $D \geq 10$, что подходит для большинства автомобилей);

передаваемый крутящий момент должен соответствовать самым большим значениям для двигателей мощностью до 1 МВт; вариатор должен быть выполнен по наиболее экономичной планетарной схеме.

Коробка передач с вариатором подобной концепции (супервариатор) могла бы занять лидирующее положение среди бесступенчатых передач автомобилей.

Супервариатор и его исполнения

При проведении исследований пришли к пониманию того, что вариатор новой концепции должен включать базовый вариатор и дифференциальный блок. Базовый многодисковый планетарный вариатор по сравнению с другими вариаторами имеет наибольший потенциал по мощности – каждый фрикционный контакт здесь может передавать от 20 до 30 кВт. Использование гибких податливых фрикционных дисков позволило выполнить вариатор многодисковым с совмещёнными в осевом направлении внешними и внутренними центральными фрикционными дисками. Подпружинивание этих дисков, соответственно плоскими и тарельчатыми пружинами со специально подобранными характеристиками, оптимизировало нажимные усилия во фрикционных контактах. Эти усилия зависят от передаточного отношения вариатора. Кроме того, проведенные исследования позволили создать вариатор с равномерной нагрузкой на все фрикционные контакты. В результате, был усовершенствован базовый вариатор, габариты которого уменьшились более чем вдвое, а масса – более чем в пять раз по сравнению с прототипом – обычным многодисковым вариатором. Он позволяет получить при малых значениях передаточных отношений КПД до 0,95 [1]. Конструкция вариатора запатентована [2]. При трех рядах дисков и шести сателлитах в ряде число фрикционных контактов достигает 36 (рис. 1). Стендовые испытания показали, что каждый фрикционный контакт способен пере-

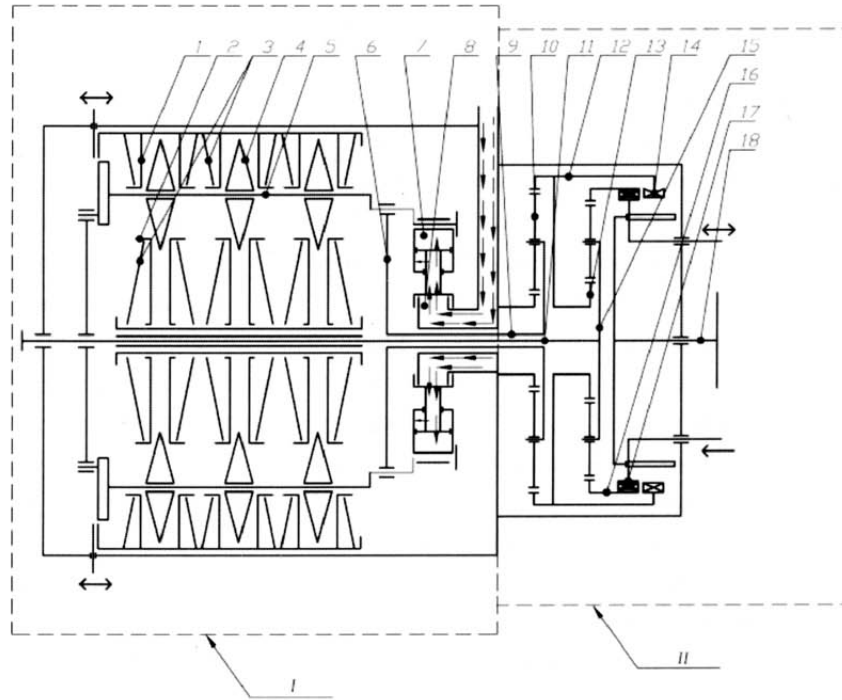


Рис. 1. Кинематическая схема супервариатора в первом исполнении:

I – вариатор, *II* – планетарный блок; 1 и 2 – внешние и внутренние центральные фрикционные диски соответственно; 3 – дисковые пружины; 4 – конические сателлиты; 5 – оси сателлитов; 6, 15 – водило; 7 – гидроцилиндр; 8 – коллектор; 9, 11 и 18 – валы, соответственно, выходной вариатора, двигателя и выходной супервариатора; 10 – повышающая планетарная передача; 12, 16 – эпициклы; 13 – внутреннее центральное колесо дифференциального механизма; 14, 17 – зубчатые полумуфты

дать до 30 кВт мощности без нарушения пленки смазочной жидкости (трактант «Сантотрак-50»), поэтому общая мощность такого вариатора может достигать 1 МВт.

Функции дифференциального блока нового вариатора следующие. Во-первых, сужение диапазона варьирования передаточного отношения базового вариатора с повышением его КПД и передача части мощности на выходной вал напрямую, минуя вариатор. Во-вторых, преобразование режима работы базового вариатора на обратный (например, с повышения передаточного отношения на его понижение), опять же, с сужением диапазона передаточных отношений и повышением КПД. При этом общий диапазон варьирования передаточного отношения всего устройства (супервариатора) повышается, так как используются оба режима базового вариатора – и снижения, и повышения его передаточного отношения.

Работа вариатора с дифференциальным блоком и техническое решение, основанное на нем, защищено опубликованной международной патентной заявкой [3].

Описанный принцип работы супервариатора может быть осуществлен в двух исполнениях, которые предполагают разделение режима его работы на две фазы (в первой фазе вся мощность привода полностью проходит через базовый вариатор, а во второй фазе – от 6 до 60 %, чем собственно эти фазы и отличаются).

В первом исполнении супервариатора (см. рис. 1) в первой фазе работает только базовый вариатор, а во второй, дополнительно к нему, подключается к работе дифференциальный блок во второй функции. Диапазон варьирования передаточного отношения D при этом возрастает примерно до 20, что недостижимо для современных бесступенчатых коробок передач на режиме непрерывного варьирования,

но КПД в начале первой фазы работы составляет около 0,85 с увеличением в конце этой фазы до 0,95. При включении дифференциального блока КПД увеличивается с 0,95 до 0,98, так как через вариатор начинает проходить всё меньшая часть мощности, а большая её часть идёт напрямую. Однако в первой фазе работы через вариатор проходит вся мощность. В данном конструктивном исполнении супервариатор может использоваться на автомобилях, в основном работающих на низких передаточных отношениях трансмиссии (например, на шоссе), и использующих высокие передаточные отношения лишь эпизодически (например, для трогания с места).

Супервариатор в первом исполнении состоит из внешних 1 и внутренних 2 центральных фрикционных дисков, подпружиненные дисковыми пружинами 3, что позволяет создать равномерные нажимные усилия во фрикционных контактах с коническими сателлитами 4. Кроме того, такое исполнение позволяет совместить по осевым размерам группы дисков 1 и 2, что невозможно в существующих конструкциях планетарных дисковых вариаторов. Сателлиты 4, оси 5 которых закреплены в водиле 6, могут перемещаться радиально, изменяя передаточное отношение вариатора. Это перемещение может осуществляться, например, с помощью гидроцилиндра 7, к которому жидкость (масло, трактант) подводится по коллектору 8 от неподвижного насоса (направление подачи масла в обе полости цилиндра показано стрелками).

На рис. 1 изображено положение механизма супервариатора во второй фазе работы, когда его передаточное отношение i_s (от входного вала 11 к выходному валу 18) уменьшается с увеличением передаточного отношения базового вариатора i_v (от вала 11 к полумуфте 14).

Работа супервариатора в первом исполнении начинается в первой фазе с того положения, когда подвижная полумуфта соединена с полумуфтой 14. Вал 18 в этом случае вращается с частотой вращения большей, чем вал 9 вариатора в 1,3–1,4 раза. (Например, автомо-

биль трогается с места и разгоняется, а также преодолевает повышенные дорожные сопротивления. Диапазон варьирования передаточного отношения в этой фазе составляет 8–10.) Далее, частота вращения выходного вала 9 вариатора при минимальном передаточном отношении $i_{v\min}$ с помощью повышающей планетарной передачи 10 увеличивается до частоты вращения вала 11 двигателя (реально – в 1,3–1,4 раза). По эпициклу 12 вращение передаётся на внутреннее центральное колесо 13 дифференциального механизма (тем самым происходит переход во вторую фазу работы супервариатора) и на зубчатую полумуфту 14.

Водило 15 дифференциального механизма кинематически связано с валом 11 двигателя, а эпицикл 16 этого механизма – с зубчатой полумуфтой 17. (В положении кинематики, изображённом на рис. 1, с этой полумуфтой находится в зацеплении подвижная в осевом направлении полумуфта, соединённая телескопически с выходным валом 18 супервариатора.) При достижении базовым вариатором передаточного отношения $i_{v\min}$, весь механизм дифференциала вращается как одно целое с частотой вращения входного вала 11. В этом положении выходной вал 18 может свободно соединяться с помощью подвижной полумуфты с полумуфтами 14 и 17 – как с обеими сразу, так и порознь – без разрыва потока мощности. Этот процесс, проходящий во второй фазе, можно назвать «селекцией» режимов, так как такое переключение не имеет ничего общего с обычным переключением передач. На второй фазе средний КПД супервариатора тоже достаточно высок: 0,97–0,98.

Во втором исполнении супервариатора (рис. 2) в обеих фазах работает дифференциальный блок, и, как отмечено ранее, через базовый вариатор проходит лишь часть мощности, и поэтому в обеих фазах КПД достигает значения 0,97–0,98. Однако диапазон изменения передаточных отношений составляет всего 3–3,5. Поэтому в супервариаторе предусмотрена дополнительная передача – демультипликатор, с помощью которого достигается диа-

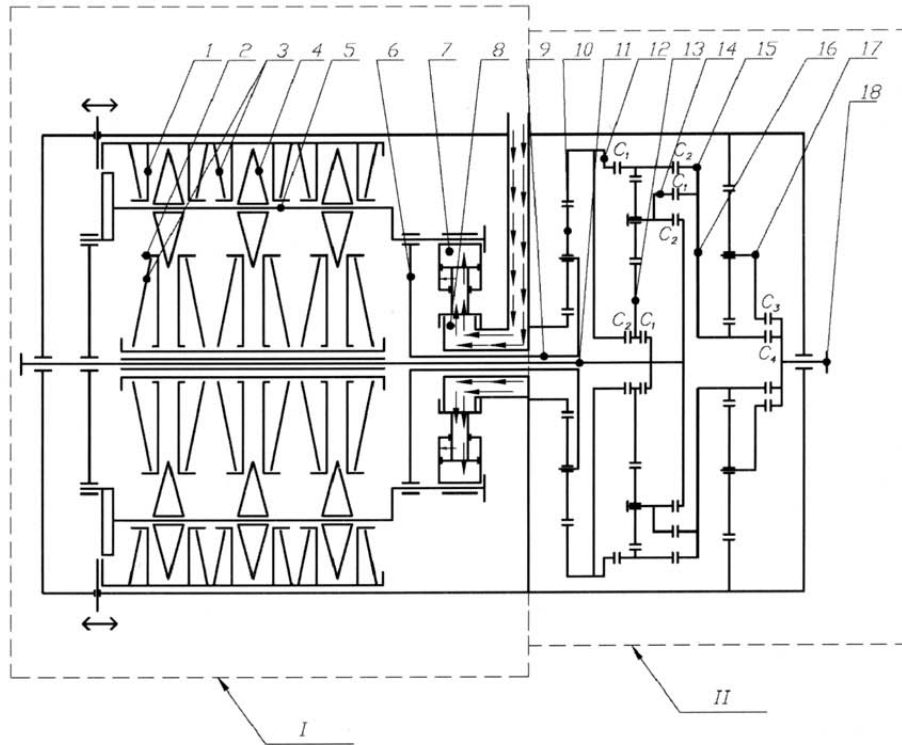


Рис. 2. Кинематическая схема супервариатора во втором исполнении:

I – вариатор, *II* – планетарный блок; 1 и 2 – внешние и внутренние центральные фрикционные диски соответственно; 3 – дисковые пружины; 4 – конические сателлиты; 5 – оси сателлитов; 6 – водило; 7 – гидроцилиндр; 8 – коллектор; 9, 11 и 18 – валы, соответственно, выходной вариатора, двигателя и выходной супервариатора; 10 – повышающая планетарная передача; 12 – эпициклы; 13 – внутреннее центральное колесо дифференциального механизма; 14 и 17 – водило дифференциала и демультипликатора соответственно; 15 – эпицикл дифференциала; 16 – выходное звено супервариатора; C_1, C_2, C_3, C_4 – синхронизаторы

пазон 10–12 варьирования передаточных отношений. Следует отметить, что переключение демультипликатора сопровождается кратковременным разрывом потока мощности, характерным для любого переключения передач в ступенчатой трансмиссии. Поэтому такое исполнение супервариатора может использоваться для машин, часто работающих на высоких передаточных отношениях и низких скоростях движения (например, тягачах). К тому же, данное исполнение предпочтительно для мощных машин, так как через базовый вариатор всегда проходит лишь часть мощности. Для тех случаев, когда разрыв потока мощности нежелателен, предусмотрено соответствующее конструктивное решение, которое здесь не рассматривается.

Различие в работе супервариатора во втором исполнении по сравнению с первым заключается в том, что в первой фазе к выходному валу супервариатора 18 подключается не выходной вал 9 вариатора, а водило 14 дифференциального механизма. На нём усредняются вращения выходного вала 9 вариатора и вала двигателя 11. Это позволяет повысить КПД супервариатора в первой фазе до 0,97 и снизить часть мощности, проходящей через вариатор, примерно до тех же значений, что и во второй фазе, точнее – от 20 до 60 %. Вторая фаза не отличается по работе от той же фазы супервариатора в первом исполнении, а его КПД не опустится ниже 0,95–0,96.

Отмеченные показатели для бесступенчатых передач ухудшаются лишь малым диапа-

зоном варьирования передаточных отношений, который во втором исполнении достигает лишь $D = 3-3,5$. Но дополнительная передача (демультипликатор), характерная для автомобильных коробок передач, позволит повысить его до значения $D = 10-12$. При этом демультипликатор включается с помощью синхронизаторов $C_1 - C_2$ и $C_3 - C_4$, выравнивающих частоты вращения соединяемых элементов, и потребность в которых вызвана лишь приведением дифференциального механизма в исходное положение, определяемое первой фазой, после прохождения второй фазы.

Выходной вал супервариатора 18 с помощью синхронизаторов $C_3 - C_4$ может подсоединяться как к водилу демультипликатора (звону 17), так и к выходному звену супервариатора 16, соответственно, повышая и понижая передаточное отношение супервариатора. В первой фазе включаются синхронизаторы $C_1 - C_2$, а во второй фазе – $C_3 - C_4$.

Заметим, что реверс может осуществляться торможением водила 17 и соединением с выходным валом 18 одного из центральных колес демультипликатора. Аналогичное решение может быть использовано и в первом исполнении супервариатора.

Характеристики опытных образцов супервариаторов

На рис. 3 приведены графики изменения КПД η супервариатора в двух исполнениях в зависимости от отношения

$$i'_s = \frac{n_2}{n_1},$$

где n_2 и n_1 – частоты вращения выходного и входного валов соответственно.

Этот показатель удобен тем, что построенные на его основе кривые позволяют представить наиболее характерные режимы движения автомобиля в широком диапазо-

не скоростей. Из сравнения графических зависимостей КПД (см. рис. 3) супервариаторов двух исполнений видно, что супервариатор в первом исполнении проигрывает супервариатору во втором исполнении, особенно на режимах движения с малыми скоростями. Но второе исполнение существенно сложнее первого (добавляются демультипликатор и синхронизаторы). Следует иметь в виду, что во втором исполнении супервариатор передает мощность в 1,6–1,7 раза больше, чем в первом исполнении, так как через базовый вариатор во втором исполнении проходит лишь части мощности, не превышающей 60%, а остальная мощность идет напрямую на вал. Судя по этим показателям, можно предположить, что первое исполнение супервариатора предпочтительнее для автомобилей, в основном, движущихся по шоссе, например, легковых машин и междугородних автобусов. Второе исполнение – предпочтительнее для автомобилей, часто использующих малые скорости движения при высоких мощностях (большегрузные автомобили, тягачи, городские автобусы).

На рис. 4 представлены графики изменения КПД $\eta_{кп2}$ коробки передач на основе супервариатора первого исполнения во второй фазе работы (т.е. при включении дифференциального блока) в зависимости от диапазона ее варьирования для двух крайних случаев – поло-

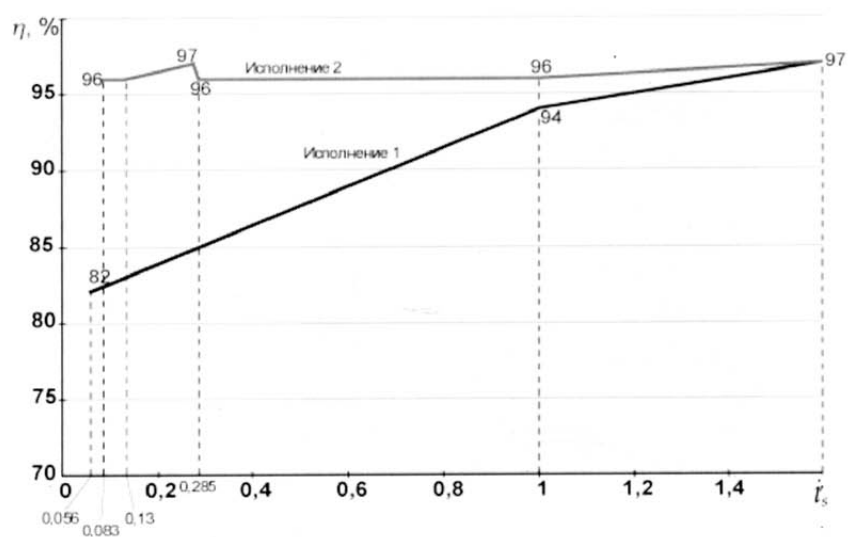


Рис. 3. Изменения КПД супервариатора – в двух исполнениях

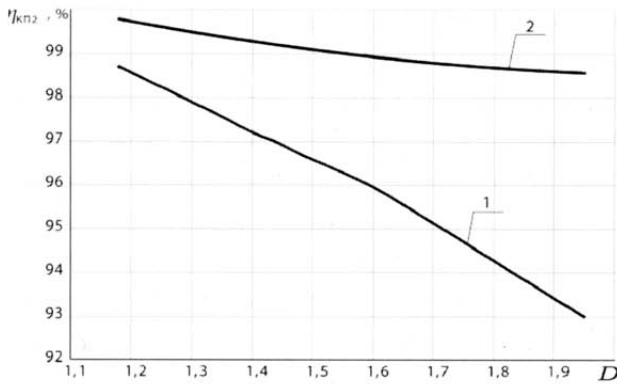


Рис. 4. Изменение КПД коробки передач $\eta_{кп2}$ при включении дифференциального блока в зависимости от диапазона варьирования D на этом режиме: 1 и 2 – при минимальных и максимальных передаточных отношениях базового вариатора соответственно

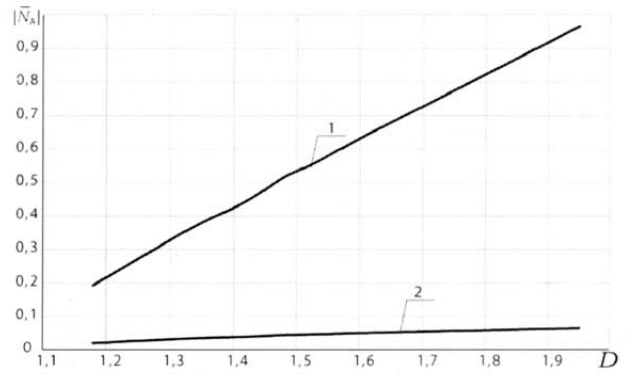


Рис. 5. Изменение относительной мощности $|\bar{N}_A|$, проходящей через базовый вариатор, при включении дифференциального блока в зависимости от диапазона варьирования D коробки передач на этом режиме: 1 и 2 – при минимальных и максимальных передаточных отношениях базового вариатора соответственно

жений базового вариатора при передаточных отношениях i_{min} и i_{max} .

Для этих же диапазонов на рис. 5 показано изменение относительной части мощности $\bar{N}_A$, проходящей через вариатор (берется по модулю, так как она отрицательна из-за циркуляции мощности), а относительная мощность, проходящая непосредственно от входного вала на выходной, будет:

$$\bar{N}_B = 1 + |\bar{N}_A|, \quad \bar{N}_B = N_B/N, \quad \bar{N}_A = N_A/N,$$

где N – общая мощность на входном валу вариатора.

Принцип работы супервариатора достаточно сложный и поэтому нуждался в экспериментальной проверке основных характеристик.

Эксперимент

Для проведения эксперимента был изготовлен и испытан на нагрузочном стенде малоразмерный опытный образец супервариатора в первом исполнении (рис. 6) номинальной мощностью около 2 кВт и частотой вращения на входе 1450 мин⁻¹.

На рис. 7 в виде графиков представлены основные экспериментальные характеристики супервариатора в зависимости от частоты вращения выходного вала n_2 : моменты T_1 и T_2 на входном и выходном валах соответственно, мощность на выходном валу P_2 и КПД η . Из анализа этих кривых видно, что несмотря на малую мощность и высокие потери на смазку (погружением в базовом вариаторе и пластичную – в зубчатых механизмах) КПД супервариатора достаточно высок, особенно во второй фазе. Селекция режимов супервариатора осуществляется легко – без ударов (отсутствуют всплески на кривых) и разрыва потока мощности.

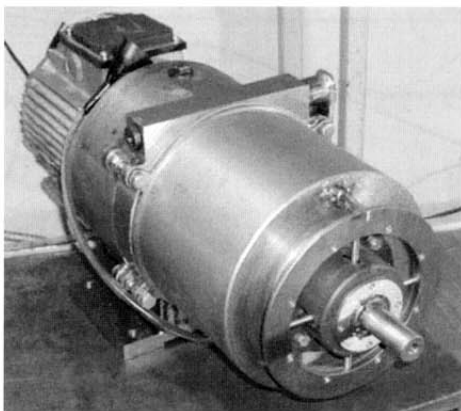


Рис. 6. Опытный образец супервариатора

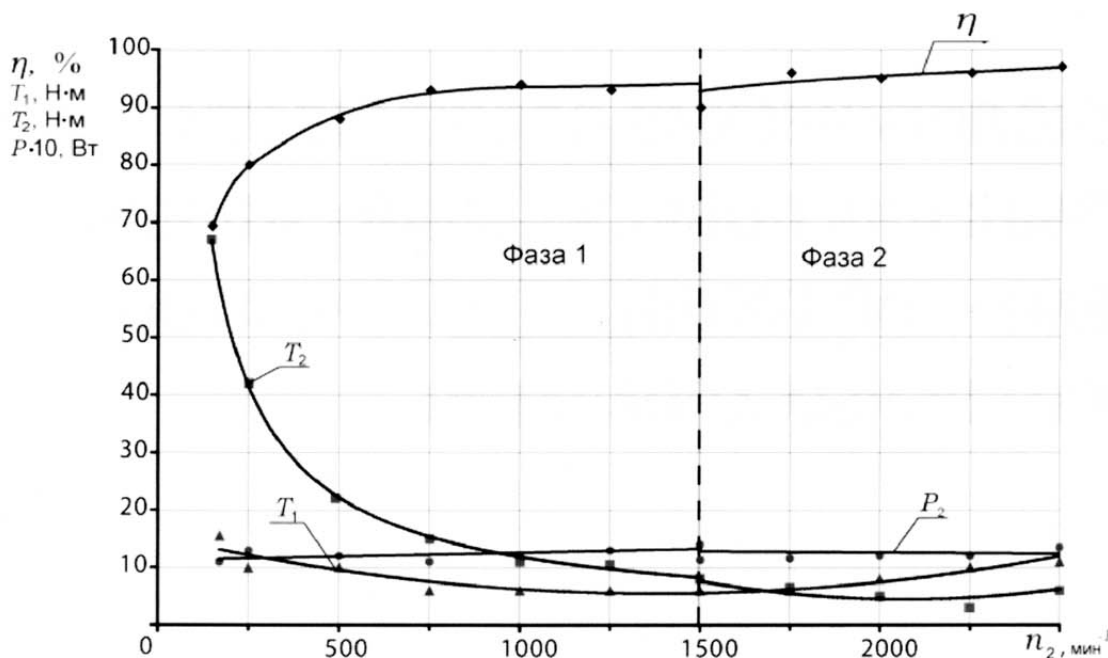


Рис. 7. Экспериментальные зависимости моментов T_1 и T_2 , мощности P_2 и КПД η для двух фаз работы супервариатора первого исполнения

Заключение

Экспериментальный образец супервариатора небольшой мощности подтвердил лишь общий принцип работы нового устройства, обеспечивающего повышение его КПД и расширение диапазона варьирования передаточного отношения во второй фазе работы, а также переход от первой на вторую фазы работы без разрыва потока мощности.

Все иные принципы работы и характеристики супервариатора ничем не отличаются от таковых в обычных планетарных дисковых вариаторах, успешно выпускаемых и эксплуатируемых.

Таким образом, испытания показали успешность заложенных в супервариатор принципов и возможностей, что создает надежные

предпосылки для разработки, изготовления и испытания полноразмерных конструкций.

Список литературы

1. Гулия Н.В. и др. Новый вариатор для автомобильной бесступенчатой коробки передач для автобуса ЗИЛ – 3250// Грузовик &. 2003. № 3. С. 6–8.
2. Гулия Н.В. Патенты России – № 214 0028, 1998 и 2138710, 1998; США – US 6, 558, 286, В1, 2003; Китая – ZL 99 8 16732.0, 2004; Венгрии – № 22320, 2004.
3. Гулия Н.В. Широкодиапазонный бесступенчатый привод – супервариатор. Международная патентная заявка PCT/RU 03/00298, 2003. Реестр опубликованных патентных заявок // Публикация WO 2005/003596, 2005.