

УДК 629.331

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРАНСМИССИЙ ТЯЖЁЛЫХ КОММЕРЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В.В. Давыдов, Е.Е. Пронин / МГТУ им. Н.Э. Баумана

В.В. Стригуненко / ООО «Комбарко инжиниринг»

Автоматические коробки передач в России серийно не производятся, но известно о разработанной компанией ООО «Комбарко инжиниринг» электромеханической трансмиссии — супервариаторе.

Целью этого исследования является сравнительный комплексный анализ супервариатора и наиболее распространённых моделей трансмиссий тяжёлых коммерческих транспортных средств. Для сравнения применена методика, предложенная в книге *Automotive Transmissions Fundamentals, Selection, Design and Application* авторов Н. Naunheiner, В. Bertsche, J. Ryborz, W. Novak.

Методика позволяет сравнивать различные типы трансмиссий одного класса (предназначенные для одного типа техники) по ряду важнейших параметров, таких как силовой диапазон, массогабаритные характеристики, эксплуатационные параметры, особенности конструкции, параметры, связанные с комфортом водителя, стоимость жизненного цикла, себестоимость производства.

В результате исследования показано преимущество супервариатора над конкурирующими решениями и выявлены сильные и слабые стороны технологии.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших узлов автомобиля является трансмиссия. Автомобильные трансмиссии предназначены для передачи крутящего момента от двигательной установки к движителям. Как правило, они состоят из сцепления, коробки передач (КП), карданных валов, главной передачи и дифференциала, образуя силовую установку совместно с двигателем. В данной статье понятие «трансмиссия» сужается только до узла КП со сцеплением. Основным критерием классификации является способ изменения передаточного отношения трансмиссией. Так, она может быть:

- бесступенчатой (CVT) — меняющей передаточное отношение во всём диапазоне скоростей без разрыва потока мощности. Такой способ регулирования обеспечивает максимальную эффективность

силовой установки за счёт точной подстройки передаточного отношения под внешние условия;

- ступенчатой — изменяющей передаточное отношение дискретно и имеющей фиксированное значение этого параметра на каждой конкретной передаче;

- комбинированной (бесступенчатой с переборами) — имеющей некоторое ограниченное число диапазонов, переключение между которыми производится с разрывом потока мощности, но передаточное отношение внутри диапазонов меняется бесступенчато.

Также трансмиссии можно классифицировать по типу преобразования энергии при трансформации момента. Они могут быть:

- механическими,
- гидравлическими,
- электрическими,
- комбинированными (электромеханическими, гидромеханическими и т. п.).

Бесступенчатые трансмиссии по этой классификации могут быть следующих типов: гидравлическими, механическими (фрикционными вариаторами), электрическими, а также комбинированными.

Современные экологические и экономические требования, требования к безопасности, надёжности и уровню комфорта оператора транспортного средства (ТС) определяют следующие требования к современным и перспективным автомобильным трансмиссиям:

- надёжность передачи момента от ДВС к движителю,
- изменение передаточного отношения в зависимости от дорожных условий,
- обеспечение изменения направления вращения выходного вала КП относительно входного вала КП,
- обеспечение отбора части мощности для работы дополнительных систем автомобиля,
- компактные размеры,
- высокая удельная мощность,
- достаточно высокие КПД и долговечность,
- низкая трудоёмкость обслуживания и высокая ремонтпригодность,

- простота утилизации,
- низкая стоимость,
- низкая шумность работы.

На данный момент наиболее широкое распространение на коммерческих транспортных средствах с ДВС мощностью 360... 520 л. с. и максимальным крутящим моментом 1 700...2 400 Н·м получили следующие типы трансмиссий:

- механические коробки передач с ручным переключением передач;
- механические роботизированные КП с автоматизированным переключением передач;
- автоматические трансмиссии с гидротрансформатором и планетарной редукторной частью.

Гидравлические передачи, равно как и последовательные электрические или фрикционные вариаторы, не получили широкого распространения, так как при хороших показателях в целом они обладают рядом существенных недостатков:

- высокая стоимость;
- низкая удельная мощность (высокая масса системы);
- снижение эксплуатационных показателей в холодное время года (гидравлические системы);
- низкая установленная мощность (фрикционные вариаторы);
- малый ресурс (фрикционные вариаторы);
- сложность обслуживания (фрикционные и гидравлические системы).

Таким образом, на данном этапе бесступенчатые трансмиссии в заявленном классе мощностей широкого распространения не получили. Однако существует возможность создания бесступенчатых трансмиссий на базе принципа разделения потока мощности. В настоящее время налажено мелкосерийное производство подобных трансмиссий.

Мировой лидер в производстве КП Allison Transmission имеет в своём модельном ряду трансмиссии серии EP (рис. 1.) [1], предназначенные для использования в гибридных городских автобусах. Рекуперация энергии при торможении в такой системе производится в электрохимический аккумулятор, что во многом определяет облик трансмиссий EP.

Коробка передач Allison Transmission серии EP представляет собой электромеханический двухдиапазонный вариатор со сложным разделением потока мощности. Переключение диапазонов происходит посредством фрикционных элементов управления, управляется электроникой, роль актуаторов играют гидравлические бустеры. Деление потоков мощности происходит в дифференциальном механизме,

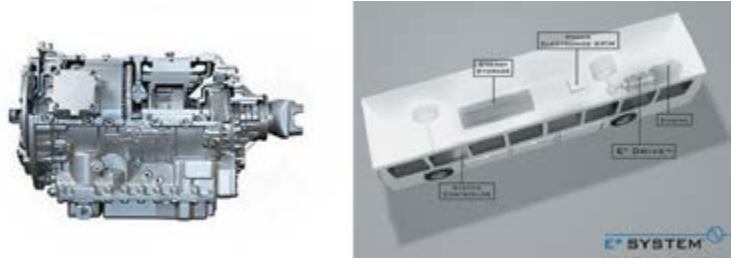


Рисунок 1. КП Allison EP и автобус на базе технологии

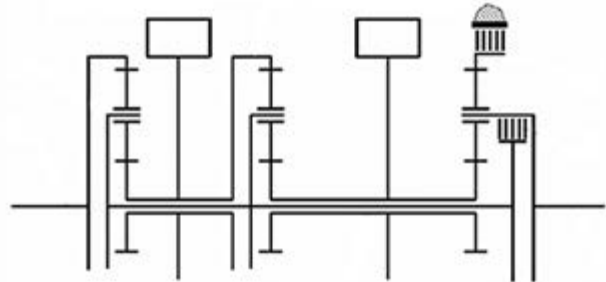


Рисунок 2. Кинематическая схема трансмиссии Allison EP



Рисунок 3. Трансмиссия ZF Eccom

который имеет в своём составе три простых планетарных механизма (рис. 2). Установленная мощность электрической передачи составляет примерно 60% от полной мощности силовой установки.

Также известна трансмиссия ZF Eccom (рис. 3), представляющая собой четырёхдиапазонный вариатор с гидравлическим варьирующим звеном. Трансмиссия ZF Eccom применяется на тракторах. Максимальный момент на входе для данной трансмиссии — 1 600 Н·м, хотя гипотетически она может быть масштабирована на большие типоразмеры.

Одним из наиболее распространённых тракторов с бесступенчатой трансмиссией является Fendt Vario. Его трансмиссия представлена на рис. 4. Концептуально он близок к ZF Eccom, хотя переключение между диапазонами не синхронизовано и происходит с разрывом потока мощности.

Таким образом, можно утверждать, что создание бесступенчатой трансмиссии для коммерческого транспорта на базе вариаторов с разделением потока мощности принципиально возможно. В связи с этим интересным видится проведение сравнения

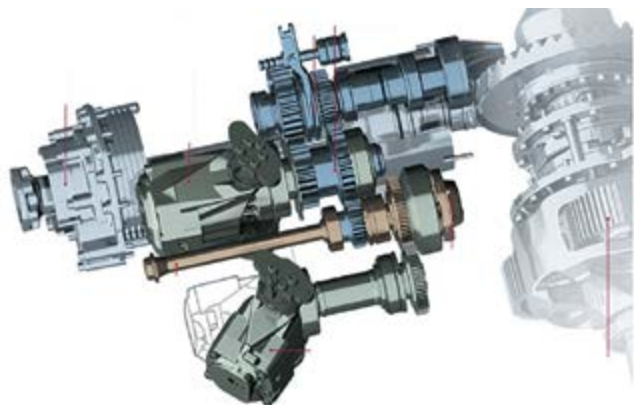


Рисунок 4. Трансмиссия трактора Fendt Vario



Рисунок 5.  
КП Allison 4000

перспективных трансмиссий обозначенного выше типа с известными автоматизированными и механическими коробками передач.

Форвардами в производстве различных автомобильных трансмиссий являются Allison Transmission и ZF. Стоит также рассмотреть трансмиссии производителей Eaton и Voith и сравнить их с перспективным электромеханическим вариатором компании «Комбарко инжиниринг».

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При выборе трансмиссий для сравнения необходимо следовать следующим критериям:

- трансмиссии мировых лидеров производства;
- разнообразные типы трансмиссий (механические, механические роботизированные, автоматические, комбинированные).

Предлагается рассмотреть следующие распространённые трансмиссии.

### Allison 4000

Автоматическая КП Allison 4000 с гидротрансформатором, тремя простыми планетарными рядами, тремя блокировочными муфтами и двумя фрикцион-

ными тормозами. С 2005 года АКПП серии 4000 оснащаются электронной системой управления Allison 4-го поколения. Блок управления обрабатывает информацию различных датчиков, а также других систем автомобиля и подаёт сигналы на электромагнитные клапаны для переключения передач. Актуаторы фрикционных выполнены в виде гидравлических бустеров.

### Voith Diwa D 864.5

Гидромеханическая автоматическая коробка передач Voith Diwa 864.5 имеет четыре ступени. Она состоит из четырёх простых планетарных рядов, а гидротрансформатор (он же выполняет функцию ретардера) расположен необычно — посередине коробки. АКПП включает в себя элементы управления: три блокировочных муфты и три фрикционных тормоза.

При автоматическом управлении ступенчатой коробкой передач выбор момента включения той или иной передачи обеспечивается с учётом минимум трёх информационных параметров — нагрузки двигателя, скорости движения автомобиля и передачи, включённой на момент переключения. Кроме этого, в системе управления коробкой передач Voith предусмотрена возможность коррекции закона переключения передач в зависимости от развиваемого автобусом ускорения.

### ZF Ecomat 2 HP 602 C

Автоматическая КП серии Ecomat с гидротрансформатором, тремя простыми планетарными рядами, тремя блокировочными муфтами и тремя фрикционными тормозами. АКПП ZF Ecomat выпускаются с 1978 года.

Управление автоматической коробкой передач для выбора движения вперёд или назад осуществляется кнопочным или рычажным переключателем. Система управления всей коробкой передач электронная. Она отключает гидротрансформатор после трогания с места, находит оптимальные ступени коробки передач и управляет тормозом-замедлителем.

### ZF AS Tronic 16 AS 2230 TD

Роботизированная КП ZF AS Tronic состоит из четырёхступенчатого блока, переднего делителя и сопряжённого заднего демультипликатора в планетарном исполнении. Четырёхступенчатый блок коробки передач выполнен с включением передач кулачковыми муфтами. Синхронизация производится через управление двигателем и трансмиссионный тормоз. Передний делитель и задний демультипликатор син-

хронизированы. Коробки передач серии имеют два промежуточных вала.

Система управления коробок передач ZF AS Tronic — это комбинация электронно-пневматически переключающейся коробки передач с кулачковыми муфтами и автоматического сцепления.

Вследствие автоматического сцепления (нет педали сцепления) отпадает необходимость в управлении сцеплением водителем.

Непосредственный процесс переключения выполняется системой электронного управления коробкой передач. Водитель имеет возможность управлять транспортным средством как в полуавтоматическом, так и в полностью автоматическом режиме. В полуавтоматическом режиме ручное переключение производится рычагом переключения передач.

### **Eaton Ultrashift PLUS VCS**

Eaton Ultrashift PLUS VCS является представителем самого последнего поколения роботизированных трансмиссий от компании Eaton.

Все основные характеристики обозначенных трансмиссий сведены в табл. 1 приложения.

Для того чтобы произвести адекватное сравнение предложенных трансмиссий, было решено воспользоваться экспертным методом. Это обусловлено тем, что сравнение по каким-то отдельным показателям, которые могут быть выражены численно, не даст полноценной картины, сохранится вероятность упустить какие-либо важные как для производителя, так и для конечного потребителя аспекты, сравнение будет неполным. Также непонятно, какие из эксплуатационных и производственных показателей являются главными, а какие — второстепенными.

Однако для сохранения объективности было решено отказаться от разработки собственного метода в пользу готового, предложенного в книге *Automotive Transmissions Fundamentals, Selection, Design and Application (2010)* авторов H. Naunheiner, B. Bertsche, J. Ryborz, W. Novak (стр. 52).

Авторами предложен список из 40 показателей, относящихся к вопросам разработки, маркетинга, жизненного цикла, комфорта и экономики перспективных трансмиссий.

Каждому показателю присвоен собственный весовой коэффициент, то есть числовое значение, на которое умножается оценка конкретной трансмиссии по тому или иному показателю. Это позволяет выделить наиболее и наименее важные показатели.

Показатели, по которым проводилась оценка:

1. *Long service life/Долговечность (9,00 — здесь и далее весовой коэффициент)*

Под показателем долговечности подразумевается возможность безотказной работы узла без необходимости проходить ремонты любого уровня и без потери эффективности.

2. *Low repair costs/Низкая себестоимость ремонта (4,89)*

Наименьшей стоимостью ремонта среди представленных КП обладают роботизированные механические коробки передач. Это связано с простотой конструкции. В составе таких трансмиссий нет сложных узлов и агрегатов, поэтому требования к квалификации ремонтного персонала также являются низкими.

3. *Low production costs/Низкая себестоимость производства (4,59)*

Наиболее простой, а значит, и дешёвой в производстве является механическая автоматизированная КП. Помимо этого, она обладает ещё и низкой материалоемкостью (на 50-100 кг меньше, чем у конкурентов).

4. *Range of ratios/Диапазон передаточных отношений (4,02)*

Супервариатор обладает бесконечным кинематическим и большим силовым диапазонами, поэтому получает высший балл.

5. *Gear step/Знаменатель передаточных отношений (3,47)*

Супервариатор является лидером в этой номинации, так как обладает бесконечным передаточным отношением, а значит, понятие знаменателя вообще неприменимо к такой трансмиссии.

6. *Early failures unusual/Отказы на начальном этапе эксплуатации (3,13)*

Вероятность отказа меньше всего у роботизированной КП вследствие её простоты. Единственным элементом с низкой надёжностью является система управления. Это связано с тем, что она не может быть дублирована, её конструкция сложна, а выход системы управления из строя непременно приводит к потере подвижности автомобиля.

7. *Length/Габаритная длина (2,92)*

Оценки расставлены в соответствии с габаритной длиной каждой трансмиссии.

8. *Long maintenance interval/Интервалы между техническим обслуживанием (2,63)*

Супервариатор выполнен необслуживаемым на протяжении всего срока полезного использования. Интервалы между сменами масла достаточно велики, что обусловлено низкой скоростью загрязнения масла продуктами износа.

9. *Operating travel & force/Усилия и ходы переключения* (2,59)

Это интегральный показатель, указывающий на требования к оператору транспортного средства, а также на комфортность его работы. Все автоматизированные трансмиссии получают высший балл, так как отсутствует необходимость управления работой КП оператором.

10. *Low weight/Масса* (2,55)

Сравниваются весовые показатели заправленных трансмиссий с дополнительными агрегатами в минимальной комплектации.

11. *Traction constantly available/Разрывы силового потока* (2,47)

Супервариатор является бесступенчатой трансмиссией во всём диапазоне скоростей и частот работы ДВС, а значит, он лидирует по этому показателю.

12. *Vibration resistance/Вибростойкость* (2,35)

В каждой из систем имеются микроконтроллеры и блоки управляющей электроники, являющиеся наиболее подверженными негативному воздействию вибрации узлов. Самой вибростойкой считается роботизированная коробка передач, так как не содержит в своём составе сложной управляющей электроники.

13. *Small number of seals/Количество уплотнений* (2,33)

Лидирующую позицию занимает супервариатор, система смазки и управления которого расположена внутри герметичных корпусов, имеет низкое давление и содержит минимальное количество подвижных уплотнений.

14. *Danger of operator error/Защита от ошибок водителя* (2,2)

Лидирующую позицию по этому показателю занимает супервариатор. Из-за высокой степени автоматизации процессов работы трансмиссии оператор практически не может повредить её своими необдуманными действиями, равно как и причинить вред ДВС транспортного средства.

15. *Low maintenance costs/Стоимость технического обслуживания* (2,19)

Супервариатор является необслуживаемым на протяжении всего срока эксплуатации. Замена требует только масло, деградирующее по причине окисления и насыщения влагой.

16. *Overload capability/Перегрузочная способность* (2,08)

Электрическая передача супервариатора имеет конструктивный перегрузочный запас около 100%.



Диаграмма 1. Средний балл

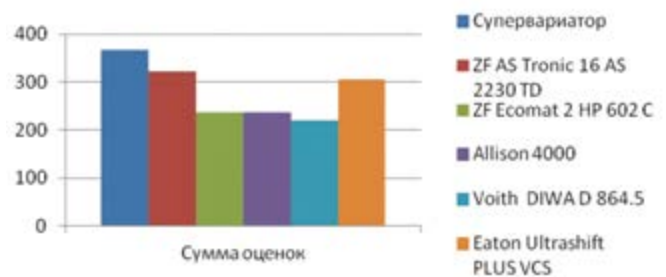


Диаграмма 2. Сумма оценок

Перегрузка вызывает постепенное повышение температуры электрических машин и не приводит к накоплению повреждений.

17. *Overdrive available/Повышающие передачи* (2,06)

Рассматриваемые нами трансмиссии, за исключением ZF AS Tronic 16 AS 2230 TD, имеют повышающие передачи.

18. *Installation of wearing parts/Быстроизнашивающиеся детали* (1,92)

Супервариатор не содержит изнашивающихся элементов, поэтому получает высший балл — 5.

19. *Type of shift/Способ переключения* (1,86)

Супервариатор получает высший балл по данному критерию, так как переключение диапазонов в нём происходит синхронно, без разрыва потока мощности, без потерь энергии на синхронизацию и без износа элементов переключения.

20. *Owner repairable/Возможность ремонта силами владельца* (1,72)

21. *Number of parts/Количество деталей и узлов* (1,58)

Наибольшим количеством деталей и узлов характеризуется автоматическая трансмиссия, так как в её состав входят несколько планетарных механизмов, множество радиальных и упорных подшипников, фрикционные элементы, сложная гидравлическая система управления и смазки.

Меньшее количество деталей присутствует в супервариаторе.

## 22. Power take-offs/Отбор мощности (1,55)

Супервариатор, помимо разнообразных вариантов расположения коробок отбора мощностей (КОМ), располагает возможностью отбора энергии от электрического вибрирующего звена и может комплектоваться электрическим валом отбора мощности (ВОМ).

А также прочие показатели, обладающие меньшими весовыми коэффициентами: Assembly tools/Инструмент для сборки (1,55), Time to remove and replace/Время замены агрегата (1,5), Shift connections/Привод переключения (1,49), Temperature resistance/Устойчивость к перегреву (1,48), Crawler gear available/Ползучие передачи (ходоуменьшитель) (1,46), Accessibility/Доступность для обслуживания (1,42), Type of range-unit design/Тип демультипликатора (1,4), Ratio variants/Варианты передаточных чисел (1,39), Method of assembly/Удобство сборки (1,34), Moving-off/Характеристики трогания (начала движения) (1,32), Spare parts procurement/Доступность запасных частей (1,26), Low power loss/КПД (1,22), Clutch engagement/Управление сцеплением (1,16), Standard connections/Унификация соединений (1,11), Height above main shaft/Габаритная высота над первичным валом (1,07), Clear gearshift pattern/Удобство схемы переключений (1,06), Good service network/Сеть станций технического обслуживания (1,00).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. H 40/50 EP Allison electric Drives™ principles of operation. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.allisontransmissionpublications.com/Product-PO3603EN-H-40-50-EP-Allison-Electric-Drives™-Principles-of-Operation\\_15336.aspx](http://www.allisontransmissionpublications.com/Product-PO3603EN-H-40-50-EP-Allison-Electric-Drives™-Principles-of-Operation_15336.aspx) (дата обращения: 03.04.2013).
2. Allison. Советы механикам. Издания серии 3000 и 4000. — 2005. — 102 с. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: <http://www.allisontransmission.com/servlet/DownloadFile?Dir=publications/pubs&FileToGet=MT4015RU.pdf> (дата обращения: 03.04.2013).
3. Eaton. Troubleshooting guide. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: [http://www.roadranger.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@roadranger/documents/content/rr\\_trts-0070.pdf](http://www.roadranger.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@roadranger/documents/content/rr_trts-0070.pdf) (дата обращения: 03.04.2013).
4. Voith. Diwa 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.voith.com/en/products-services/power-transmission/automatic-transmissions-bus/diwa-5-10199.html> (дата обращения: 03.04.2013).
5. ZF. Manual and automatic transmissions for trucks. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: [https://serviceline.zf.com/interoelepdf/TE-ML%2001\\_en1433.pdf](https://serviceline.zf.com/interoelepdf/TE-ML%2001_en1433.pdf) (дата обращения: 03.04.2013).
6. ZF Ecomat 2. Руководство для ремонтных работ HP502C, HP592C, HP602C, EST46C, EST47C. [Электронный ресурс]. URL: <http://book.tr200.net/v.php?id=1734459> (дата обращения: 03.04.2013).
7. Харитонов С.А. Автоматические коробки передач. Эксплуатация, диагностика, техническое обслуживание и ремонт. — М.: АСТ, 2003. — 187 с.
8. CVFA112HN-04 Supervariator. Preliminary test result report. — 2013. — 29 с. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: [http://combarco.ru/r\\_d/presentations/Supervariator/CVFA112HN-04%20preliminary%20test%20result%20report%20v%201.1.pdf](http://combarco.ru/r_d/presentations/Supervariator/CVFA112HN-04%20preliminary%20test%20result%20report%20v%201.1.pdf) (дата обращения: 03.04.2013).
9. Allison. Автоматические коробки передач для коммерческих грузовых машин. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: <http://www.ndgs.ru/pdf/spec1k-4k.pdf> (дата обращения: 03.04.2013).
10. ZF. HP502C, HP592C, HP602C, HP902C ZF automatic transmission for commercial and special vehicles. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: [http://appsprod01.zf.com/zf.productDataBase/service/mediaFiles?levelType=Products&levelID=21733&mediaFileName=Ecomat\\_Truck\\_DE.pdf](http://appsprod01.zf.com/zf.productDataBase/service/mediaFiles?levelType=Products&levelID=21733&mediaFileName=Ecomat_Truck_DE.pdf) (дата обращения: 03.04.2013).
11. Eaton. Specification guide. — 2013. — 44 с. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: [http://www.roadranger.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@roadranger/documents/content/rr\\_rrsl-0001.pdf](http://www.roadranger.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@roadranger/documents/content/rr_rrsl-0001.pdf) (дата обращения: 03.04.2013).

Общий результат сравнения представлен в табл. 2 приложения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Суммировав баллы каждой трансмиссии и отнеся их к количеству критериев, мы получим средний балл. Для наглядности представим средние баллы всех трансмиссий в виде диаграммы 1.

Для получения итоговой оценки суммируем все промежуточные оценки по критериям для каждой трансмиссии. Для наглядности представим сумму оценок в виде диаграммы 2.

Из представленных диаграмм можно сделать вывод о значительном преимуществе супервариатора над другими трансмиссиями. Это, в свою очередь, даёт предпосылки для широкого распространения супервариатора.

Такой результат обусловлен тем, что супервариатор не имеет быстроизнашивающихся элементов в конструкции, не нуждается в обслуживании в течение всего срока эксплуатации, является бесступенчатым во всём диапазоне скоростей и нагрузок, прост по конструкции, компактен и имеет малую массу.

Значительным преимуществом супервариатора является возможность организовать его массовое производство на производственных мощностях отечественных предприятий. Разработка супервариатора полностью осуществляется в России. Интеллектуальная собственность также принадлежит отечественной компании.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1. Основные параметры рассматриваемых трансмиссий

Параметр	Супервариатор 4VS63/4VS64	Суперва- риатор 4VS73/4VS74	Voith Diwa D 864.5	ZF AS Tronic 16 AS 2230 TD	ZF Ecomat 2 HP 602 C	Allison Transmission 4000 RDS	Eaton Ultrashift PLUS VCS	Примечание
Максимальный момент двигателя, Н·м	1 940/1 750	2 750/2 500	1 600	2 200	1 600	2 400	2 373	
Максимальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	2 300		2 500		2 650	2 300		
Максимальный выходной крутящий момент, Н·м	16 200/17 000	22 900/24 000	9 440*	37 466*	13 171	20 386	34 551	* В режимах максимального крутящего момента ДВС
Основной силовой диапазон	13,9/16,2		8,08	17,03	9,91	11,38	19,68	Силовой диапазон на максимальной мощности двигателя в продолжительном режиме
Общий силовой диапазон	17,6/20,6		8,082191781	17,03	13,95254237	13,3	19,68	Силовой диапазон с ограничением мощности двигателя или в кратковременном режиме
Минимальное кинематическое передаточное отношение (основной диапазон)	0,77/0,76		0,73	1	0,83	0,74	0,74	
Минимальное кинематическое передаточное отношение (общий диапазон)	0,53/0,51		0,73	1	0,59	0,64	0,74	
Установочная длина, мм	650	784	753	953	693	793	888,4	Без дополнительных агрегатов
Масса КПП, кг	335/340	415/420	315	255	300	377	442	Без дополнительных агрегатов, без заправки маслом
Заправочный объём, кг	20	20	28	13	30	48	13	
Масса дополнительных агрегатов в минимальной комплектации, кг	40	50	20	80	40	20	20	Теплообменник, блок управления, приводы переключения передач и включения сцепления
Общая масса, кг	345/350*	435/440*	363	348	370	445	475	* Общая масса бесступенчатой трансмиссии с учётом устранения некоторых штатных агрегатов автомобиля
Сопряжение с ДВС	+	+	+	+	+	+	+	SAE#1, интегрировано

Дополнительные агрегаты	Модуль отбора мощности, КОМ со 100%-м отбором мощности (в том числе на маховичный накопитель), сцепление, крепление к фланцу SAE		Нет	Модуль отбора мощности, интардер с теплообменником	2 КОМ, 2 дополнительных масляных насоса	КОМ, ретардер	КОМ	
КОМ	Независимые лючки на модуле КОМ на 4, 8 и 12 часов	Независимые лючки на модуле КОМ на 4, 8 и 12 часов	Нет	Крепление ВОМ к фланцу SAE	Независимые лючки на 1 и 11 часов. Передаваемый момент 650 (950) Н-м	Независимые лючки на 1 и 8 часов. Передаваемый момент 930 Н-м	КОМ с частотой вращения 79% от частоты вращения двигателя	
Смена масла после пробега, км	500	500	180	240	120	240	80	тыс. км

Таблица 2. Сводная таблица сравнения различных автомобильных трансмиссий

Критерий	Весовой коэффициент	Баллы						Оценка					
		Супервариатор	ZF AS Tronic 16 AS 2230 TD	ZF Ecomat 2 HP 602 C	Allison 4000	Voith DIWA D 864.5	Eaton Ultrashift PLUS VCS	Супервариатор	ZF AS Tronic 16 AS 2230 TD	ZF Ecomat 2 HP 602 C	Allison 4000	Voith DIWA D 864.5	Eaton Ultrashift PLUS VCS
Долговечность	9	5	3	1	1	1	3	45	27	9	9	9	27
Низкая себестоимость ремонта	4,89	3	5	1	1	1	5	14,67	24,45	4,89	4,89	4,89	24,45
Низкая себестоимость производства	4,59	1	5	4	4	4	5	4,59	22,95	18,36	18,36	18,36	22,95
Диапазон передаточных отношений	4,02	5	4	3	3	1	5	20,1	16,08	12,06	12,06	4,02	20,1
Знаменатель передаточных отношений	3,47	5	4	2	2	1	3	17,35	13,88	6,94	6,94	3,47	10,41
Отказы на начальном этапе эксплуатации	3,13	5	5	2	2	1	5	15,65	15,65	6,26	6,26	3,13	15,65
Габаритная длина	2,92	3	1	5	3	4	2	8,76	2,92	14,6	8,76	11,68	5,84
Интервалы между техническим обслуживанием	2,63	5	4	2	4	3	1	13,15	10,52	5,26	10,52	7,89	2,63
Усилия и ходы переключения	2,59	5	5	5	5	5	5	12,95	12,95	12,95	12,95	12,95	12,95
Масса	2,55	3	5	3	3	3	1	7,65	12,75	7,65	7,65	7,65	2,55
Разрывы силового потока	2,47	5	1	4	4	3	1	12,35	2,47	9,88	9,88	7,41	2,47



## ИССЛЕДОВАНИЯ, КОНСТРУКЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ

Вибростойкость	2,35	1	5	3	3	3	5	2,35	11,75	7,05	7,05	7,05	11,75
Количество уплотнений	2,33	5	3	1	1	1	3	11,65	6,99	2,33	2,33	2,33	6,99
Защита от ошибок водителя	2,2	5	1	3	3	2	1	11	2,2	6,6	6,6	4,4	2,2
Себестоимость технического обслуживания	2,19	5	3	2	3	2	1	10,95	6,57	4,38	6,57	4,38	2,19
Перегрузочная способность	2,08	5	1	3	3	3	1	10,4	2,08	6,24	6,24	6,24	2,08
Повышающие передачи	2,06	5	1	5	5	5	5	10,3	2,06	10,3	10,3	10,3	10,3
Быстроизнашивающиеся детали	1,92	5	3	1	1	1	3	9,6	5,76	1,92	1,92	1,92	5,76
Способ переключения	1,86	5	1	3	3	3	1	9,3	1,86	5,58	5,58	5,58	1,86
Возможность ремонта силами владельца	1,72	3	5	1	1	1	5	5,16	8,6	1,72	1,72	1,72	8,6
Количество деталей и узлов	1,58	3	5	1	1	1	5	4,74	7,9	1,58	1,58	1,58	7,9
Отбор мощности	1,55	5	4	4	4	1	3	7,75	6,2	6,2	6,2	1,55	4,65
Инструмент для сборки	1,55	5	5	1	1	3	5	7,75	7,75	1,55	1,55	4,65	7,75
Время замены агрегата	1,5	5	5	5	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Привод переключения	1,49	5	5	5	5	5	5	7,45	7,45	7,45	7,45	7,45	7,45
Устойчивость к перегреву	1,48	5	3	1	1	1	3	7,4	4,44	1,48	1,48	1,48	4,44
Ползучие передачи (ходоуменьшитель)	1,46	5	4	1	1	1	3	7,3	5,84	1,46	1,46	1,46	4,38
Доступ для обслуживания	1,42	5	5	5	5	5	5	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
Тип демультипликатора	1,4	5	4	1	1	1	4	7	5,6	1,4	1,4	1,4	5,6
Варианты передаточных чисел	1,39	5	1	3	4	4	4	6,95	1,39	4,17	5,56	5,56	5,56
Удобство сборки	1,34	5	3	1	1	1	3	6,7	4,02	1,34	1,34	1,34	4,02
Характеристики трогания (начала движения)	1,32	5	1	3	3	3	1	6,6	1,32	3,96	3,96	3,96	1,32
Доступность запасных частей	1,26	1	5	5	3	5	3	1,26	6,3	6,3	3,78	6,3	3,78
КПД	1,22	4	5	1	1	3	5	4,88	6,1	1,22	1,22	3,66	6,1
Управление сцеплением	1,16	5	5	5	5	5	5	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Стоимость разработки	1,16	1	5	3	3	3	5	1,16	5,8	3,48	3,48	3,48	5,8
Унификация соединений	1,11	5	5	5	5	5	5	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55
Габаритная высота над первичным валом	1,07	5	5	5	5	5	1	5,35	5,35	5,35	5,35	5,35	1,07
Удобство схемы переключений	1,06	5	5	5	5	5	5	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
Сеть станций технического обслуживания	1	1	5	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5
ИТОГО		4,225	3,75	2,975	2,975	2,875	3,525	367,47	321,2	237,16	237,64	219,84	304,8