

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ФРИКЦИОННЫЙ ВАРИАТОР — ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВИД МЕХАНИЧЕСКОГО БЕССТУПЕНЧАТОГО ПРИВОДА

Д.т.н. проф. Н.В. Гулиа, к.т.н. С.А. Юрков

ООО «Комбарко» (Москва)

Прежде всего, определим подход авторов к соответствующей терминологии. Автоматическим вариатором в данной статье назван такой, который самостоятельно приспосабливается к нагрузке на выходном валу. Ранее такие вариаторы назывались прогрессивными, но этот термин, происходящий от английского слова *progressive* — постепенный, часто путали с прогрессивностью в смысле перспективности, современности. Поэтому прогрессивный, по своей сути, вариатор авторы в своих публикациях стали называть адаптивным, что наиболее точно отражает свойство самоприспосабливаемости агрегата к изменяющимся сопротивлениям вращению выходного вала. Но такое название оказалось малопонятным для потребителей, и авторы перешли к более привычному термину «автоматический».

Автоматический вариатор обеспечивает свойство самоприспосабливаемости к изменяющимся сопротивлениям на рабочем органе, приводимом от вариатора, благодаря исключительно особенностям механики своей конструкции (см. Н.В. Гулиа. Автоматическая бесступенчатая передача. Пат. РФ №2138710С1, 1999). Между тем, существуют и выпускаются рядом зарубежных фирм фрикционные вариаторы, в частности планетарные дисковые, обеспечивающие вышеупомянутое свойство благодаря системе датчиков (например, тока электродвигателя, приводящего вариатор), посылающих сигналы сервоприводу, принудительно изменяющему передаточное отношение вариатора. Такие вариаторы авторы предлагают называть автоматизированными, так как в этом случае обычный вариатор с принудительным, например, ручным, регулированием передаточного отношения подвергся автоматизации с помощью датчиков и сервопривода.

Планетарные дисковые вариаторы, выпускаемые сейчас большим количеством зарубежных компаний в Германии, Италии, Испании, Китае и других странах, базируются на достаточно старых патентах, в частности GB 1384679, и за прошедшее с 1972 года время, когда они были разработаны компанией GALBRAITH ENG PTY Ltd, они не претерпели каких-либо принципиальных изменений.

На рис. 1 представлена конструктивная схема современного дискового планетарного вариатора, выполненного по патенту GB 1384679. Устройство представляет собой фрикционную планетарную передачу, в которой конические сателлиты 8 зажаты между внешними 7 и 9 и внутренними 3 и 5 центральными фрикционными дисками с возможностью перемещения их в радиальном направлении. Нажатие на внутренние центральные фрикционные диски 3 и 5 осуществляется с помощью тарельчатых пружин 4, на внешние центральные фрикционные диски 7 и 9 — с помощью шарикового кулачкового устройства, состоящего из упорного кольца 1 и непосредственно внешнего центрального фрикционного диска 9, на торцевых поверхностях которых имеются канавки, в которых расположены шарики 2. С входным валом 6 связаны внутренние центральные фрикционные диски 3 и 5, с выходным валом 11 — водило 10.

Изменение передаточного отношения такого дискового планетарного вариатора производится за счет осевого сжатия внешних центральных фрикционных дисков, в результате чего происходит «выдавливание» сателлитов в радиальном направлении. Аналогичный способ изменения передаточного отношения применяется, например, на уже давно существующих клиноременных вариаторах. Но если упругий клиновой ремень под действием сжатия достаточно сильно деформируется и быстро переходит с одного шкива на другой, то в случае жестких стальных и достаточно плоских сателлитов процесс их «выдавливания» сильно затрудняется. Нужно очень большое превышение сдавливания одной из пар центральных фрикционных дисков над другой, чтобы жесткие сателлиты, да и то только при их быстром вращении, смогли медленно изменять свое радиальное положение. При медленном вращении валов вариатора процесс радиального движения сателлитов сильно замедляется, а в покое изменение передаточного отношения вариатора вообще принципиально невозможно. Такой способ изменения передаточного отношения влечет за собой, пожалуй, главный, можно сказать органический порок этих вариаторов.

Наличие пружин, поджимающих центральные фрикционные диски к сателлитам, делает нажим как внешних, так и внутренних центральных фрикционных дисков к сателлитам практически одинаковым для любого передаточного отношения вариатора. Между тем, этот нажим, при предположении постоянного коэффициента трения во внутреннем и наружном контактах, должен быть обратно пропорциональным расстоянию от точек контактов фрикционных дисков с сателлитами до оси вращения сателлитов (из условия равновесия вращающих моментов, действующих на сателлиты). Но ввиду того, что этот одинаковый нажим должен быть не меньше максимального из условия отсутствия буксования, то «пережим» точек контактов против оптимальных значений нажима при полном диапазоне передаточных отношений будет в 20...25 раз. Однако реально, при

переменных коэффициентах трения, этот «пережим» составляет примерно 15, что также чрезвычайно много. Поэтому для выпускаемых за рубежом вариаторов значение крутящего момента на выходном валу не превышает его значения на входном валу более чем в 2,5...3 раза. «Пережим» в этом случае равен тоже примерно двум-трем, что тоже много, так как максимум КПД вариатора достигается примерно при «пережиме», выражаемом коэффициентом запаса по сцеплению β , равным 1,25. Отметим, что упомянутый «пережим» сильно увеличивается во время уменьшения передаточного отношения, то есть ускорения входного вала, а при увеличении передаточного отношения может наблюдаться буксование.

С устройством по патенту GB 1384679 связаны и другие недостатки выпускаемых за рубежом вариаторов. Например, толстые и жесткие внешние и внутренние фрикционные диски не позволяют равномерно нагружать все точки контактов, если их больше трех (а оптимальное их количество должно быть не менее шести) из-за разнотолщинности сателлитов.

Компания «Комбарко» разработала и выпускает дисковый планетарный вариатор, в котором изменение передаточного отношения достигается принципиально другим способом. Конструктивная схема такого вариатора представлена на рис. 2.

Конические сателлиты 1 закреплены на осях 12 в опорах качения 13, расположенных на поворотных рычагах 2, имеющих возможность поворота на осях 8, закрепленных в водиле 7. Сателлиты 1 зажаты между центральными внешними 14 и внутренними 10 фрикционными дисками, причем последние подпружинены тарельчатыми пружинами 9, а внешние диски 14 сами выполнены в виде плоских дисковых пружин, закрепленных в корпусе (не показан) вариатора по периферии. Характеристики тарельчатых и дисковых пружин подобраны так, чтобы при радиальном перемещении сателлитов 1 при повороте рычагов 2, они создавали нажим на сателлиты 1 (которые при радиальном перемещении упруго деформируют эти пружины), оптимальный для данного положения сателлитов. То есть, изменяя передаточное отношение вариатора, радиальное перемещение сателлитов одновременно автоматически задает и оптимальный по КПД нажим во фрикционных контактах. Так как фрикционные диски 10 и 14 упругоподатливы в осевом направлении, разнотолщинность сателлитов 1 не мешает практически равномерному нагружению всех точек контактов, если даже число сателлитов больше трех. Перевод сателлитов 1 может осуществляться без «пережимов» контактов, как угодно быстро, и даже на неподвижном вариаторе. Кроме того, новый вариатор является автоматическим, то есть он может самостоятельно изменять передаточное отношение (радиальное положение сателлитов 1 при увеличении момента сопротивления на выходном валу 6). В этом случае связанный с выходным валом 6 кулачковый диск 4 проворачивается относительно роликов 3,

закрепленных на поворотных рычагах 2, и эти ролики обкатываются по фасонным прорезам в кулачковом диске 4, занимая соответствующее радиальное положение, и задавая радиальное положение сателлитам 1, расположенным на этих же поворотных рычагах 2. Пружины растяжения 5 стягивают сателлиты 1 к центру, уменьшая передаточное отношение вариатора, а фасонные прорезы, напротив, отодвигают их на периферию, увеличивая передаточное отношение. Последнее позволяет, снизив частоту вращения выходного вала 6 по отношению к входному 11, соответственно увеличить крутящий момент на выходном валу 6, позволяющий преодолевать повышенные сопротивления.

Автоматический мотор-вариатор компании «Комбарко» с асинхронным электродвигателем 1,5 кВт, 1500 мин^{-1} во фланцевом исполнении представлен на рис. 3. Максимальный длительно развиваемый крутящий момент этим вариатором — 60 Нм. КПД вариатора при таком моменте составляет 0,8, возрастая до 0,94 при уменьшении передаваемого крутящего момента. Следует отметить, что такой мотор-вариатор развивает и гораздо большие крутящие моменты — до 100 Нм. Однако КПД вариатора при этом падает до 0,55, а мощность на валу электродвигателя возрастает, достигая значения 2 кВт, что закономерно при преодолении возросших сопротивлений. Вследствие этого вариатор может перегреться при длительном использовании на таких сверхнормативных моментах.

Автоматичность действия вариатора — ценное свойство, позволяющее без вмешательства оператора обеспечить выполнение технологических процессов с изменяющимися параметрами. При потребности в повышении крутящего момента частота вращения выходного вала вариатора автоматически уменьшается, а крутящий момент растет. Такие процессы встречаются очень часто — загустевание перемешиваемых жидкостей и смесей, большая или меньшая загрузка конвейеров, различные намоточные процессы, полиграфические машины, металло- и дерево обработка с меняющимися параметрами резания, прохождение рабочего органа машин в среде с переменным сопротивлением, насосы переменного давления и производительности и многое другое. Для подобных случаев обычно используют электромашин постоянного тока с последовательным возбуждением (сериес-моторы) с соответствующими системами управления постоянного тока. Но мотор-вариаторы автоматического типа с асинхронным двигателем и тем же максимальным моментом в несколько раз легче таких электромашин, меньше их и дешевле, долговечность их больше, особенно с учетом сложных систем управления постоянного тока.

Если же их сравнивать с асинхронными двигателями с частотным регулированием, то преимущества будут еще разительнее. При уменьшении частоты вращения такие двигатели не только не увеличивают крутящий момент, но и снижают его. Они сильно перегреваются, так как собственный вентилятор при низкой частоте вращения уже не может работать

эффективно. Так как такие машины обычно работают с перегрузкой по мощности (при малых частотах вращения), то они снижают коэффициент мощности $\cos \varphi$ сети, что понижает КПД не только самой машины, но и всех других, работающих в той же сети. Исходя из максимального крутящего момента, асинхронный двигатель с частотным регулированием почти в 10 раз тяжелее мотор-вариатора на тот же момент, не считая самого инвертора (преобразователя).

Не вполне успешная конкуренция существующих вариаторов с частотниками объясняется малой способностью первых к повышению крутящего момента. Так, например, как уже было упомянуто, обычный вариатор повышает крутящий момент против номинального в 2...3 раза, причем делает это принудительно, а новый автоматический вариатор компании «Комбарко» позволяет повышать крутящий момент не менее чем в 6 раз, а кратковременно и до 10 раз, причем автоматически.

Нагрузочные характеристики автоматического мотор-вариатора компании «Комбарко» с асинхронным электродвигателем 1,5 кВт, 1500 мин⁻¹ в сравнении с зарубежным дисковым планетарным вариатором, выполненным по патенту GB 1384679, с аналогичным электродвигателем, а также асинхронного двигателя с частотным регулированием той же мощности и синхронной частоты вращения представлены на рис. 4. Видно, что наихудшие показатели по крутящему моменту у асинхронного электродвигателя с частотным регулированием, лучше — у зарубежного дискового планетарного вариатора. Наилучшие показатели у вариатора компании «Комбарко», что обеспечивается современной конструкцией вариатора, использующей самые передовые достижения науки.

Современные смазки обеспечивают «затвердевание», «остекленение» их в зоне контакта при резком нагружении и разгрузке контактов в пределах оптимизированных нажимов, что существенно повышает крутящие моменты при тех же нажимах, что при смазке вариаторов обычными маслами.

По теории, конструкции и испытаниям новых вариаторов нами опубликованы десятки научных статей, защищены три кандидатские диссертации специалистами, которые принимают или принимали участие в разработках новых вариаторов. Конструкция вариатора защищена двумя действующими патентами РФ, а, кроме того, поданы три новые международные заявки на патенты. Конструкция автоматического вариатора, как уже было сказано выше, существенно отличается по устройству и принципу действия от существующих конструкций, хотя и те и другие работают по планетарной схеме и основаны на знаменитом фрикционном контакте Байера — контакте, обеспечивающем наименьшие контактные напряжения и наивысшую долговечность среди всех других фрикционных контактов в вариаторах.

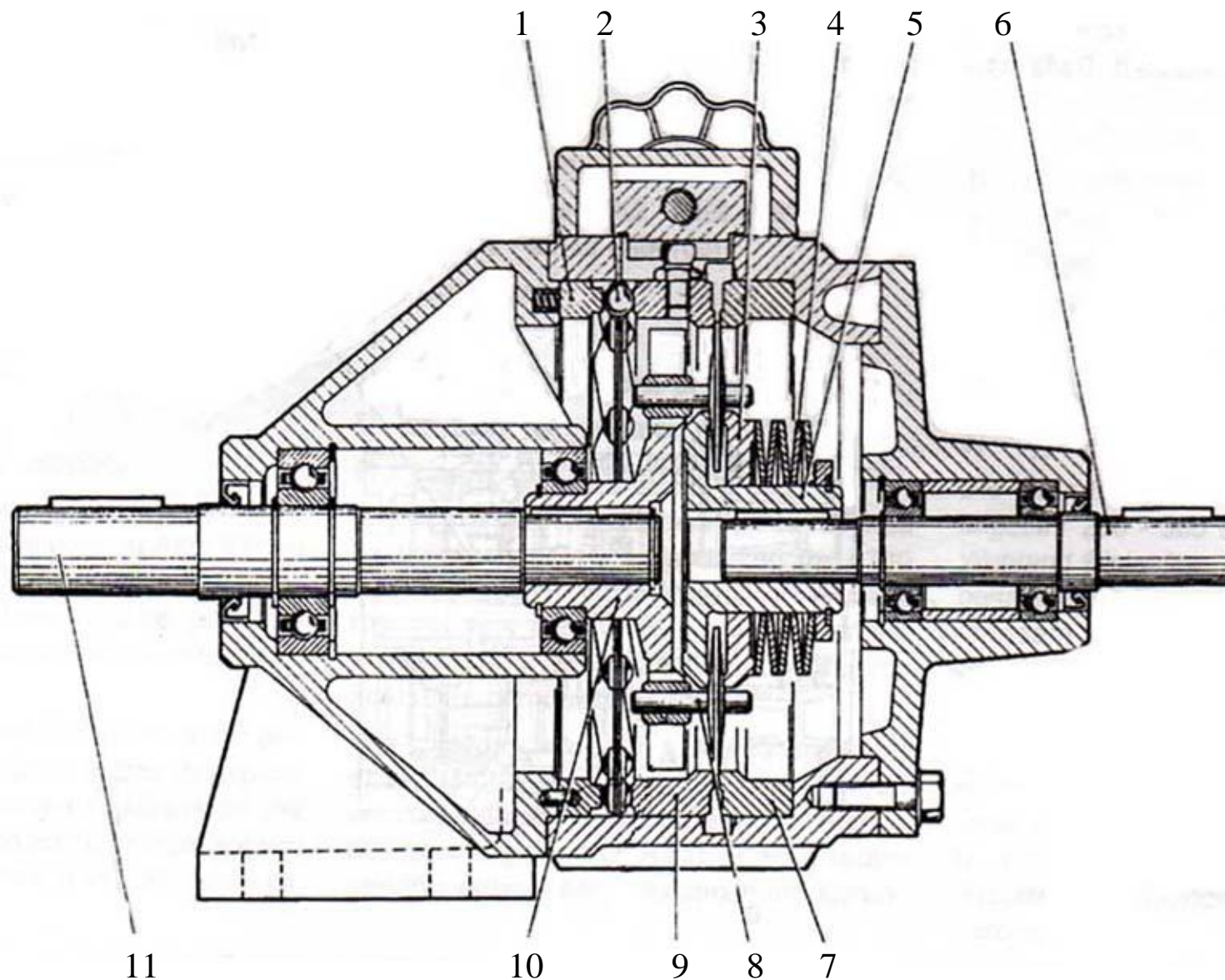


Рис. 1. Конструктивная схема современного дискового планетарного вариатора: 1 — упорное кольцо; 2 — шарики; 3, 5 — внутренние центральные фрикционные диски; 4 — тарельчатые пружины; 6 — входной вал; 7, 9 — внешние центральные фрикционные диски; 8 — конические сателлиты; 10 — водило; 11 — выходной вал.

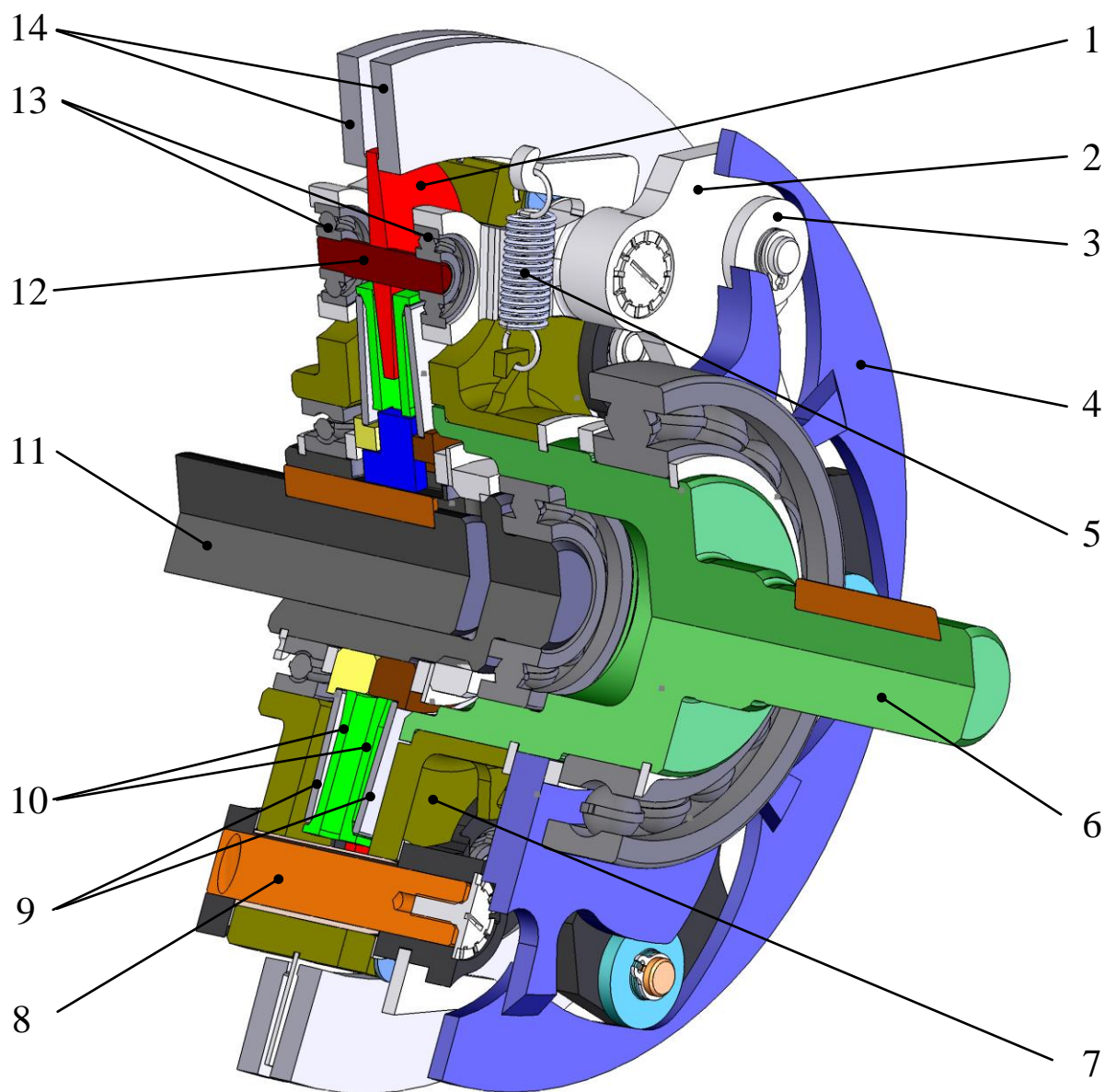


Рис. 2. Конструктивная схема дискового планетарного вариатора компании «Комбарко»:
 1 — конические сателлиты; 2 — поворотный рычаг; 3 — ролик; 4 — кулачковый диск;
 5 — пружина растяжения; 6 — выходной вал; 7 — водило; 8 — ось; 9 — тарельчатые пружины;
 10 — внутренние центральные фрикционные диски; 11 — входной вал; 12 — ось сателлита;
 13 — опоры качения; 14 — внешние центральные фрикционные диски.

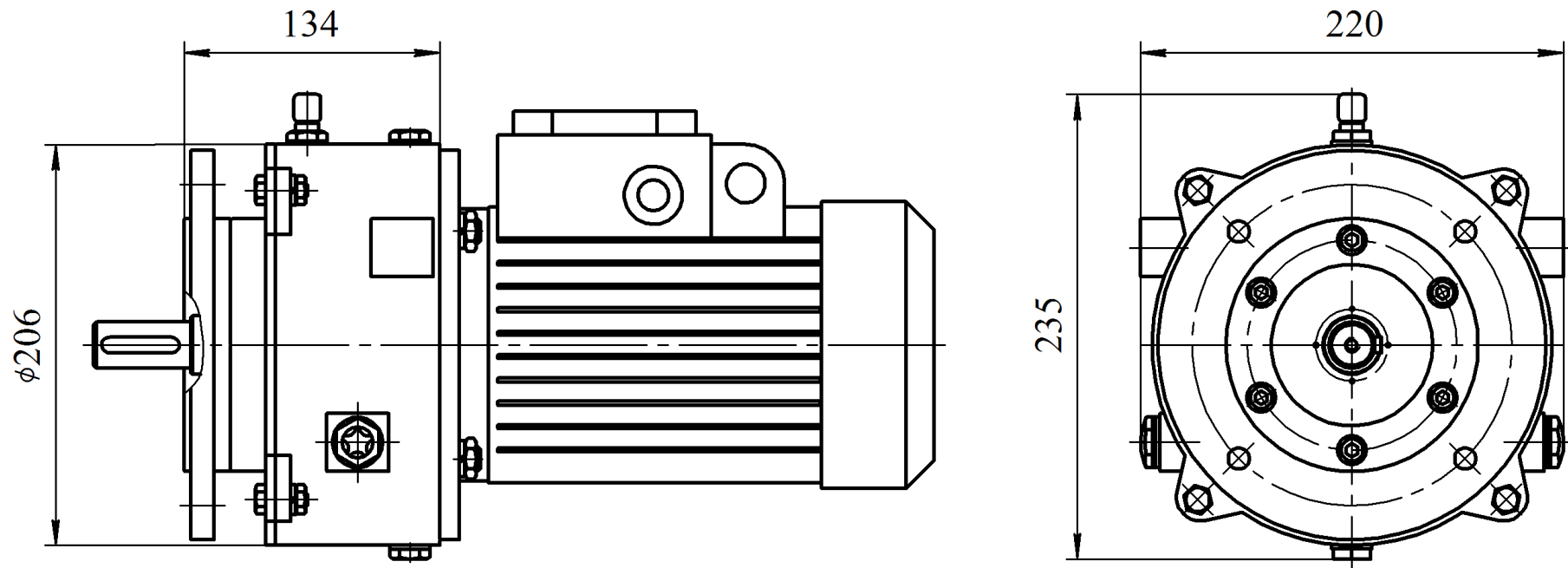


Рис. 3. Автоматический мотор-вариатор компании «Комбарко» с асинхронным электродвигателем 1,5 кВт, 1500 мин^{-1}
во фланцевом исполнении

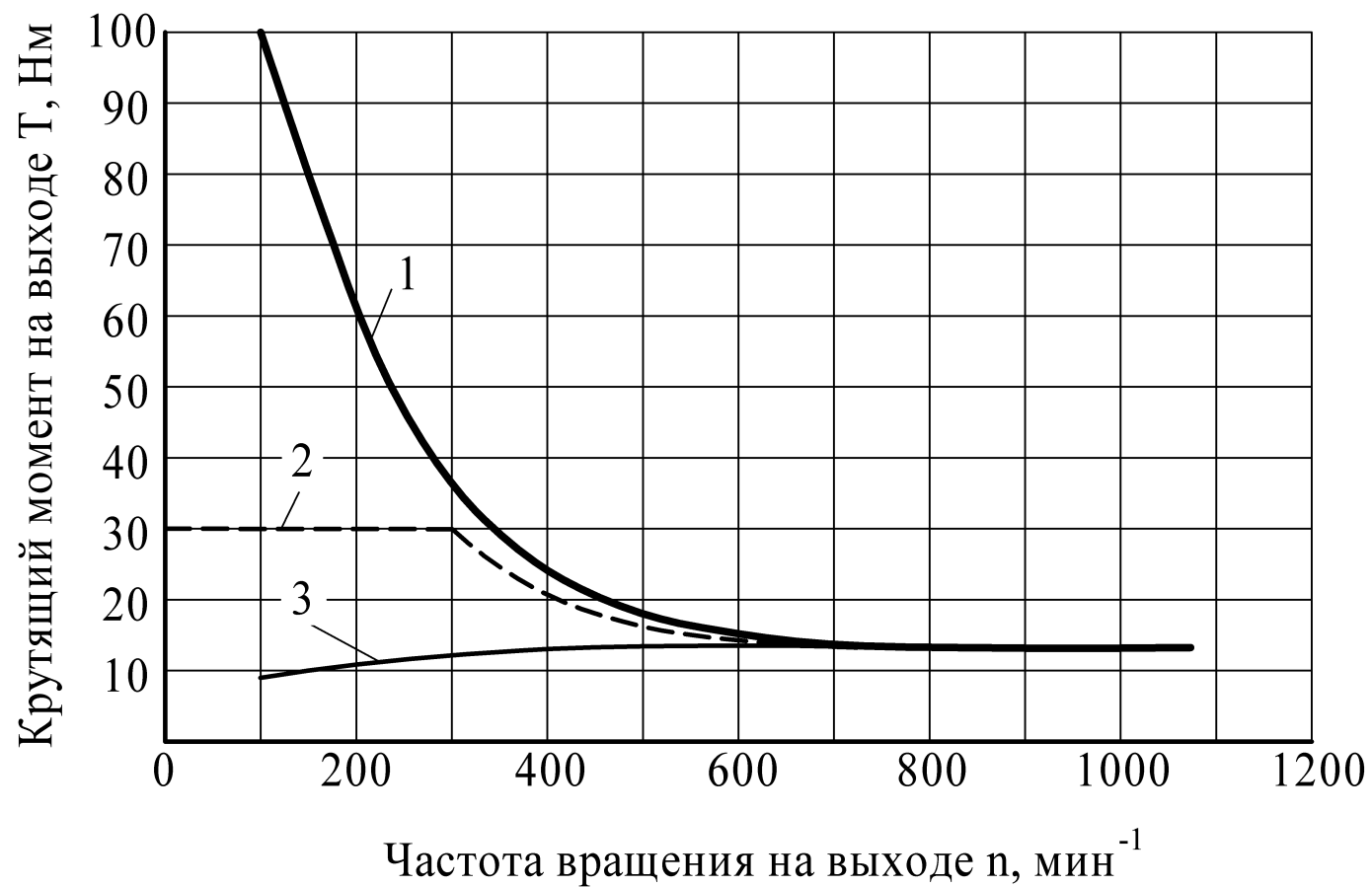


Рис. 4. Нагрузочные характеристики:

1 — автоматический вариатор компании «Комбарко» с асинхронным электродвигателем 1,5 кВт, 1500 мин^{-1} ; 2 — дисковый планетарный вариатор, выполненный по патенту GB 1384679, с асинхронным электродвигателем 1,5 кВт, 1500 мин^{-1} ; 3 — асинхронный электродвигатель с частотным регулированием 1,5 кВт, 1500 мин^{-1}