

УДК 3.09; 621.01

Р. Й. КОГУТ¹, А. Н. ПЕЧЕНИК¹, В. Г. САЛЬНИКОВ¹,
А. Д. СЕРДЮК², Н. Э. ТЕРНЮК¹¹ *Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,*
² *Международный институт машин и систем*

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВАРИАТОРОВ И ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ УРОВНЯ ИЕРАРХИИ И МЕСТА В ЦИКЛОВОЙ СТРУКТУРЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена зависимость показателей экономической и энергетической эффективности от применения вариаторов на различных местах в иерархических системах, реализующих цикловые функции вещественно-энерго-информационных преобразований. Показано, что эффективность увеличивается при росте иерархического уровня и при приближении места установки вариаторов к рабочему органу, реализующему цикловое преобразование в транспортной системе. Предложена новая, альтернативная традиционной, трансмиссия на основе силовых зубчатых вариаторов.

Ключевые слова: *эффективность, вариаторы, уровни иерархии, место в структуре элементов, цикловые функции.*

В настоящее время в различных общих и специальных транспортных, энергетических, технологических и иных системах находят всё более широкое применение вариаторы различных видов, в частности, механические [1, 2]. Позволяя изменять скорость вращения выходного вала, они реализуют принцип адаптации, расширяя тем самым технологические возможности систем и улучшая показатели их эффективности.

Будучи системой механизмов, вариаторы являются элементами более сложных систем в иерархии техносферы [3], занимая определенные места среди других элементов, с которыми они совместно реализуют цикловые функции. Вследствие этого показатели эффективности применения вариаторов

торов зависят от иерархического уровня и места в системах, их содержащих. Однако, несмотря на важность получения ответа на вопрос об этом уже на ранних этапах инновационно-инвестиционного цикла и на большое количество публикаций, посвящённых вариаторам [4 – 6], данный вопрос до настоящего времени детально не рассмотрен.

Целью данной статьи является рассмотрение вопроса о влиянии уровня иерархии и места среди объектов, реализующих цикловые функции, на эффективность применения вариаторов в системах различных видов.

Основой решения поставленной задачи могут служить сведения [7] об общей иерархии объектов техносферы, позволяющие детерминировать возможные места применения вариаторов в системах различных уровней, периодическая система технических элементов [8], выделяющая положение их функции в цикловых функциях, и универсальная формула техники [9], устанавливающая количественные соотношения между элементами структур технических объектов различных иерархических уровней.

В работах [7, 9] приведены иерархические уровни объектов техносферы, а также рекуррентные модели, отражающие общие структуры функций объектов техносферы.

Поскольку каждый элемент более высокого иерархического уровня техносферы может включать в себя множества элементов всех более низких уровней, можно установить, что усредненное по уровням иерархии общее количество (K_B) вариаторов в системе линейно зависит от количества (K_M) вариаторов в машине и имеет степенную зависимость от разности иерархических уровней машины и рассматриваемой системы

$$K_B = K_M * K^{(p_M - p_C)}, \quad (1)$$

где K – усредненное количество подсистем первого после системы механизмов и более высоких иерархических уровней в рассматриваемой системе; p_M , p_C – иерархические уровни машины и рассматриваемой системы соответственно.

Если принять усредненную величину экономического эффекта на один вариатор равную \mathcal{E} , то из (1) следует, что суммарная усредненная

величина экономического эффекта (Эоб) в системе с иерархическим уровнем pc может составить

$$\text{Эоб} = \text{Эс} * \text{КМ} * \text{K}^{(\text{pm} - \text{pc})}. \quad (2)$$

Представляет интерес структура суммарного экономического эффекта и механизмы его мультипликации.

Экономический эффект Эс согласно структуре жизненного цикла может включать в себя две основные составляющие: экономию от снижения стоимости по сравнению с аналогами (производственную составляющую), а также экономию от адаптации режимов функционирования системы (эксплуатационную составляющую).

Для вариаторов средних типоразмеров (для передаваемой мощности на уровне 100 кВт) снижение стоимости может достигать 1000 – 1500 грн. на 1 кВт передаваемой мощности по сравнению с электронными системами регулирования.

Адаптация режимов функционирования системы, выполняемая с помощью вариаторов, обеспечивает:

- экономию энергоресурсов (на 10 – 40% и более, в зависимости от коэффициента вариации нагрузки);
- экономию времени выполнения работ за счет возможности работы на предельно допустимых режимах (на 5 – 30% и более);
- эмерджентный эффект, вследствие придания нового качества системе возможности выполнения тех работ, которые ранее не могли быть выполнены, а также более эффективной взаимной координации подсистем и режимов. Этот эффект может оцениваться величиной 10 – 30 тыс. грн. и более (например, применение автоматической коробки перемены передач на базе вариатора в автомобиле повышает его цену на 2 – 4 тыс. долл. США).

Таким образом, структура суммарного экономического эффекта, выражаемого, например, в виде общей балансовой прибыли, может включать в себя составляющие, обусловленные экономией материалов, энергоресурсов и труда при их производстве, а также экономией энергоресурсов, времени выполнения работ (повышением производительности) и эмерд-

жентным эффектом при эксплуатации. Это образует составляющую, вызванную интенсивным фактором действия вариатора как инновации, встраиваемой в системы более высоких иерархических уровней. Кроме того, суммарный экономический эффект возрастает экстенсивно при росте количества вариаторов в составе машины и увеличении масштабности распространения (увеличения K), а также при повышении иерархического уровня рассматриваемой системы (увеличение разности r_m и r_c).

Из зависимости (2) вытекает, что главными механизмами мультипликации эффекта являются горизонтальная и вертикальная диффузия вариаторов в системе, приводящая к росту K и разности ($r_m - r_c$) соответственно.

Для выяснения влияния места вариаторов в цикловой структуре систем рассмотрим наиболее общую цикловую структуру системы, реализующую в автоматическом режиме замкнутый вещественно-энергоинформационный цикл. При этом учтем, что первичными техническими элементами структур техники (структурными техническими элементами) являются структурные объекты – функциональные преобразователи. Уровень технизации как отношение количества технизированных элементарных функций к общему количеству элементарных функций в антропной системе эквивалентен порядковому номеру элемента (и количеству электронов в оболочке атома) в периодической системе химических элементов. Количество видов функциональных преобразователей-элементов ограничено предназначением элементов.

Функциональные преобразователи могут объединяться между собой, образуя более сложные объекты с расширенными функциональными и параметрическими возможностями, не изменяя вида структур. При таком объединении функциональных преобразователей вид полученного объекта будет тождественен виду его составляющих. Это означает, что объединенная в систему группа преобразователей определенного вида является преобразователем того же вида.

Наиболее простой структурой технической системы является система с преобразователем – рабочим органом (РО), который расширяет возможности человека. Следующий шаг – это система, у которой состав технических средств увеличен на преобразователь (ПРО), расширяющий и усили-

вающий возможности рабочего органа. В этой системе технические средства включены последовательно.

Указанными двумя техническими элементами с участием человека может выполняться целевая функция по преобразованию субстанций. Остальные функции, входящие в систему антропных функций, выполняет человек. Переход на новый уровень организации работ требует введения в состав системы структурных новаций, связанных с технизацией функций энергетического цикла.

Модели структур технических средств для реализации энергетического цикла представляются в виде следующих гомологических рядов

$$\begin{aligned}
 & \text{РЭ}; \\
 & \text{РЭ} + \text{Прэ}; \\
 & \text{РЭ} + \text{Прэ} + \text{Пкэ}; \\
 & \text{РЭ} + \text{Прэ} + \text{Пкэ} + \text{КЭ}; \\
 & \text{РЭ} + \text{Прэ} + \text{Пкэ} + \text{КЭ} + \text{Пнэ}; \\
 & \text{РЭ} + \text{Прэ} + \text{Пкэ} + \text{КЭ} + \text{Пнэ} + \text{НЭ}; \\
 & \text{РЭ} + \text{Прэ} + \text{Пкэ} + \text{КЭ} + \text{Пнэ} + \text{НЭ} + \text{ПУэ}; \\
 & \text{РЭ} + \text{Прэ} + \text{Пкэ} + \text{КЭ} + \text{Пнэ} + \text{НЭ} + \text{ПУэ} + \text{УЭ},
 \end{aligned} \tag{3}$$

где обозначено: РЭ – рабочий орган энергетического цикла; КЭ – преобразователь-концентратор энергии; НЭ – преобразователь-носитель энергии; УЭ – преобразователь-регулятор энергии; Прэ; Пкэ; Пнэ; ПУэ – преобразователи (усилители, согласователи) указанных преобразователей соответственно.

Реальные структуры, составленные из элементов гомологических рядов, являются звездчато-линейными, что делает системы периодических элементов объектов материального мира объемными.

Аналогично устроены модели структур технических элементов, реализующих информационный цикл. При этом должна учитываться направленность потока субстанций при выполнении преобразований.

Рабочим органом информационных процессов является датчик (рецептор) – РИ. Этот элемент имеет свой преобразователь (по пространству, времени, параметрам) – ПРи. Он соединен с преобразователем-

концентратором КИ и его преобразователем – вычислителем ПКи. С другой стороны, от программоносителя НИ с преобразователем ПНи при реализации функций (3) информационного цикла поступает оперативная информация для объединения с информацией, которая идет от КИ. Объединенная информация, поступившая из двух направлений, преобразовываясь надлежащим образом благодаря наличию ПКи, подается к элементу-регулятору энергетического цикла. Процесс подачи информации согласовывается и регулируется элементами ПУи и УИ.

Из сказанного видно, что технические структуры для реализации информационного (управленческого) цикла по составу элементов подобны техническим структурам для реализации энергетического цикла. У моделей элементов информационного цикла символ Э заменяется на символ И. Техническая структура для реализации информационного цикла является также звездчато-линейной в связи с указанной ранее направленностью потоков информации. Линейчатость образуют элементы РИ, ПРи, КИ и ПКи, а лучи – элементы НИ, ПНи и УИ и ПУи.

На рис. 1 изображена наиболее общая структура полной цикловой автоматической системы. Из него следует, что элементы вещественного, энергетического и информационного цикла объединяются между собой путем образования сетевого контура с замкнутым кольцом. Замыкание осуществляется через элементы, которые непосредственно действуют на объект преобразований, из которых передается информация, и через конечные преобразователи ПУэ и ПУи энергетического и информационного циклов.

Структура автоматизированной системы реализует главные функции системы с предельным уровнем технизации. Структуры, изоморфные структуре, приведенной на рис. 1, объединяясь между собой, могут образовывать разветвленные структуры современных машин и их систем.

Для обеспечения целостности системы в ее состав, по необходимости, включается один или несколько элементов-преобразователей (соединителей, корпусов, рам, кузовов и т.п.). Их структура в общем виде также соответствует приведенной на рис. 1, но, как правило, является ее фрагментом.

В таблице 1 приведены примеры конкретизированных видов технических элементов-преобразователей, реализующих вещественный, энергетический и информационный циклы в современной технике.

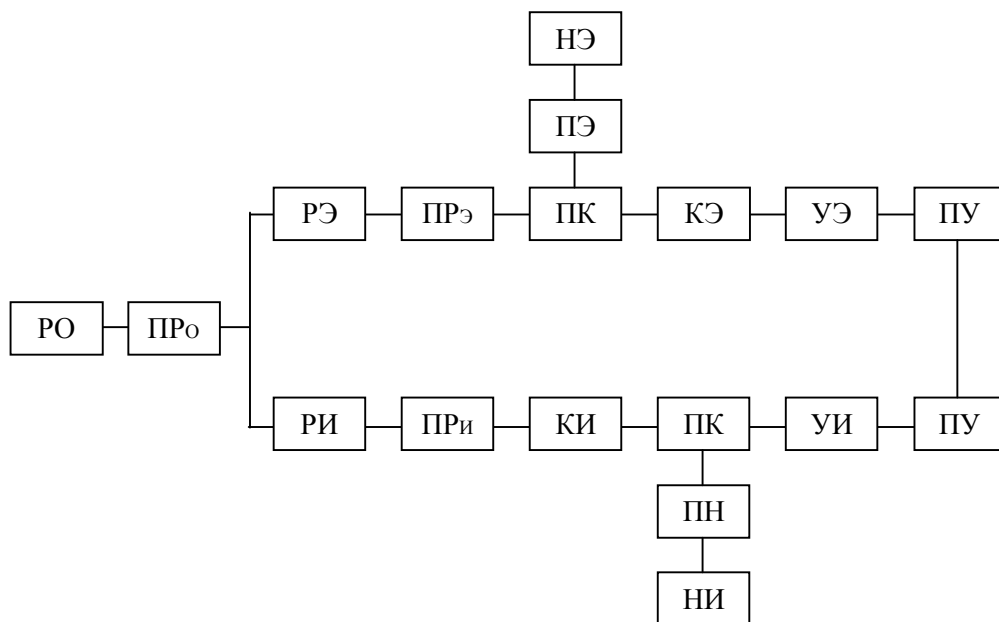


Рис. 1. Техническая структура автоматизированной системы

Поскольку структуры элементов различных видов могут конкретизироваться разными типами, группами, классами, подклассами и т.п. иерархически упорядоченных объектов, несмотря на ограниченность количества видов структур, разнообразие всех объектов материального мира является практически безграничным. В этой связи необходимо понимать влияние места вариаторов в системах на общую эффективность систем.

Из всего множества (мощностью, равной 18) видов преобразователей, входящих в структуру полноциклового системы, по прямому назначению вариатор как механический преобразователь может непосредственно занимать места: Про, Прэ, При, Пуэ и Пуи, то есть быть преобразователем рабочих органов основной, вспомогательной и управленческой функций вещественно-энерго-информационного цикла.

Таблица 1

Примеры конкретизированных видов технических элементов-преобразователей

Обозначения технических элементов	Технические изделия			
	Резец	Гидротурбоагрегат	Поршневой двигатель	Система управления
РО, РЭ, РИ	Кромка	Хвостовик вала турбины. Корпус турбины	Хвостовик коленчатого вала. Блок цилиндров	Датчики параметров. Шкафы
Про, Прэ, При	Державка	Вал турбины	Коленчатый вал	Каналы передачи сигналов
Пкэ, Пки	-	Обод турбинного колеса со ступицей	Кривошипно-шатунный механизм	Сумматор-преобразователь
КЭ, КИ	-	Лопатки турбины	Камера сгорания	Вычислительное устройство
Пнэ, Пни	-	Направляющий аппарат	Преобразованное топливо	Преобразователь
НЭ, НИ	-	Вода с кинетической энергией	Жидкое топливо	Программно-носитель
УЭ, УИ	-	Регулятор уровня воды	Регулятор подачи топлива	Управляющее устройство
Пуэ, Пуи	-	Механизм управления регулятором	Механизм управления подачей топлива	Привод управляющего устройства

Поскольку преобразователи При и Пуи относятся к информационному циклу, потери энергии, а значит и стоимости в них небольшие, поэтому данные преобразователи не оказывают существенного влияния на эффективность системы в целом, при условии выполнения ими своих функций с надлежащей надежностью. В то же время, при выполнении вариатором функций преобразователей Про и Прэ, когда через них проходит основной поток энергии, влияние этих объектов на эффективность системы является определяющей. Она зависит от коэффициента полезного действия вариатора и от других его эксплуатационных характеристик (быстродействия, махового момента и т.п.). Поскольку промежуточные преобразователи в структуре, представленной на рис. 1, обуславливают потерю энергии,

влияние вариатора на эффективность усиливается по мере приближения к рабочему органу РО.

В качестве примера влияния места вариатора в цикловой структуре рассмотрим варианты трансмиссий автомобиля.

Трансмиссия автомобиля традиционно в общем виде включает (рис. 2): присоединенное к двигателю 1 сцепление 2; коробку перемены передач 3, как правило, в виде механической коробки дискретного изменения передач; карданный вал 4; главную передачу 5; дифференциал 6 и планетарные редукторы 7. Трансмиссия имеет систему управления 8.

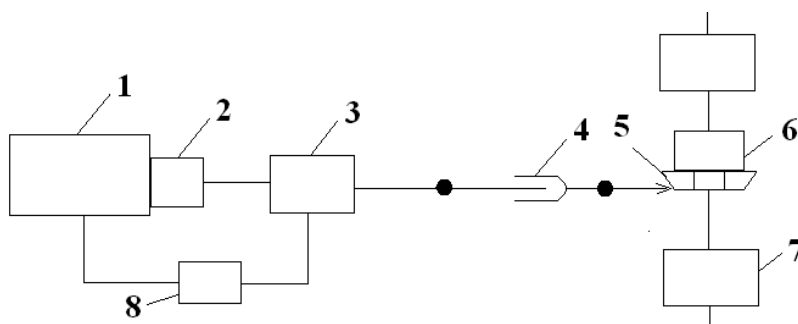


Рис. 2. Схема традиционной трансмиссии двухосного автомобиля общего вида

Особенностью такой трансмиссии является низкий коэффициент полезного действия, обусловленный большим количеством пар трения в ее составе, принадлежащих преобразователям Про и Прэ. Кроме этого, она является малоэффективной с точки зрения расхода топлива вследствие дискретности переключения передач и большой инерционности.

Альтернативой традиционной трансмиссии являются новые трансмиссии на основе силовых зубчатых вариаторов, варианты которых показаны на рис 3. Первый вариант (рис. 3, а) имеет схему трансмиссии традиционной компоновки, у которой сцепление и коробка изменения скоростей заменена на силовой зубчатый вариатор 3'. При этом имеет место продольное расположение двигателя 1 с одним выходным валом. Вторым вариантом (рис. 3, б) предусматривает использование двигателя 1 с двумя выходными валами, установленного поперек автомобиля и двухпоточной

трансмиссии. Каждый из потоков снабжен вариатором 3', который управляется автономно системой 8 и соединен, при необходимости, с бортовой передачей 7. Вариатор обеспечивает регулирование скорости вращения выходного вала от 0 до заданной величины. При этом происходит общее редуцирование оборотов выходного вала, что может исключать необходимость применения бортовых редукторов, повышая тем самым коэффициент полезного действия трансмиссии в целом (на 3 – 5%) , а также позволяет применять высокооборотные двигатели повышенной (на 5 – 10%) топливной экономичности.

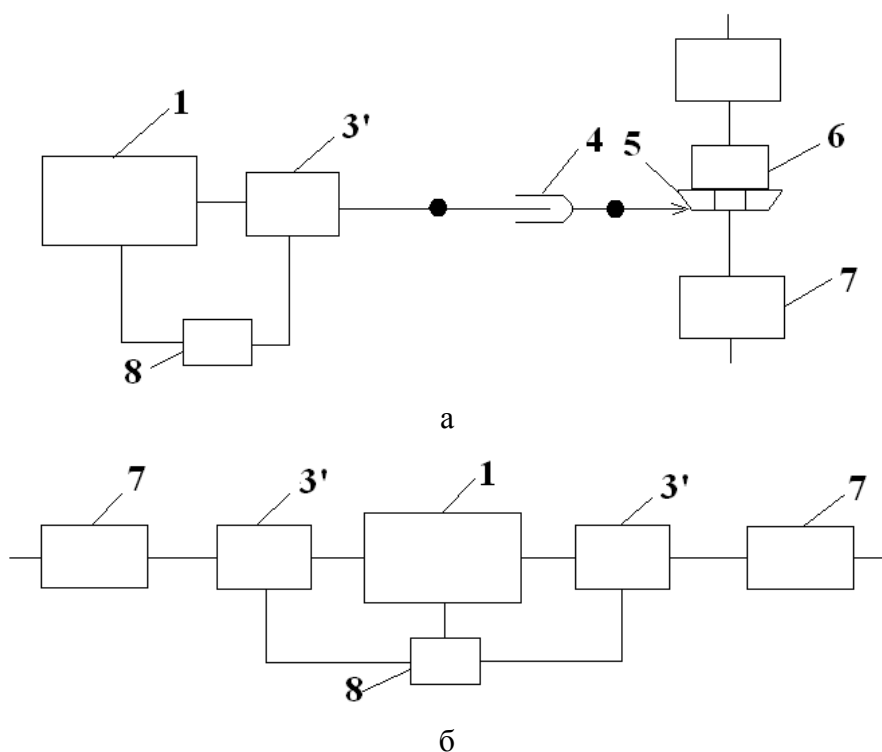


Рис. 3. Схемы альтернативных трансмиссий автомобиля на базе силовых зубчатых вариаторов

Из приведенного следует, что место вариатора в цикловой структуре систем оказывает существенное влияние на эффективность этих объектов.

В соответствии с общей системой классификации элементов техносферы типы преобразователей отличаются между собой видами применяемых физических эффектов (принципом действия) и структурными при-

знаками, определяющими уровень их функциональности и показатели экономической, энергетической и экологической эффективности. Поэтому при решении задач синтеза необходимо оптимизировать и эти атрибуты.

Таким образом, силовые вариаторы являются перспективными элементами транспортных, энергетических, технологических и других систем, позволяющих адаптировать режимы выполнения основных и вспомогательных функций. Их экономическая эффективность проявляется через экономию времени, энергоносителей и других расходных материалов, а также вследствие эффекта эмерджентности.

Величина экономического эффекта от применения вариаторов существенно зависит от иерархического уровня системы, в которой они выполняют роль регуляторов режимов работы. Чем выше иерархический уровень системы, тем больше общий эффект. Изменение иерархического уровня системы на единицу в разветвленных системах может изменять общую эффективность в абсолютном исчислении в 10 и более раз.

Основными механизмами мультипликации эффективности являются фактор роста масштабности и эмерджентный эффект.

Место вариатора в структуре элементов системы, реализующих цикловые функции вещественно-энерго-информационных преобразований, оказывает существенное влияние на эффективность. Чем ближе вариатор к рабочему органу, тем выше общая эффективность.

Дальнейшие исследования целесообразно выполнить в направлении изучения количественных характеристик эффективности от применения вариаторов для различных типов и классов систем.

Литература

1. *Благодаров, А. А. Механические бесступенчатые передачи нефрикционного типа [Текст] / А. А. Благодаров. – М.: Машиностроение, 1977. – 143 с.*
2. *Гулия, Н. В. Супервариатор – коробка передач будущего [Текст] / Н. В. Гулия, С. А. Юрков // Автоперевозчик. – 2004. – № 1. – С. 42 – 45.*
3. *Красноштан, О. М. Моделювання та визначення основних характеристик автомобільної трансмісії із зубчасто-важільним варіатором*

[Текст]: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.22.02 / Красноштан О. М. – Х., 2007. – 22 с.

4. Заблонский, К. И. Плавнорегулируемые передачи [Текст] / К. И. Заблонский, А. Е. Шустер. – К.: Техніка, 1975. – 272 с.

5. Воробьева, Н. В. Исследование качественных показателей и синтез планетарных вариаторов с автоматическим регулятором скорости механического типа [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.02.02. / Воробьева, Н. В. – М., 1975. – 16 с.

6. Зубатий, С. С. Розробка методів розрахунку та дослідження міцності та жорсткості механічних варіаторів швидкості [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.09 / Зубатий С. С. ; Харківський держ. політехнічний ун-т. – Х., 1997. – 15 с.

7. Авдеенко, Е. В. Особенности современного состояния комплексов научных и учебных дисциплин «Техноведение» [Текст] / Е. В. Авдеенко, Н.Э. Тернюк // Новый коллегіум. (Научный информационный журнал. Проблемы высшего образования). – 2006. – № 2. – С. 18 – 23.

8. Тернюк, Н. Э. Система периодических систем элементов видимого материального мира [Текст] / Н. Э. Тернюк // Сучасні проблеми науки та освіти: матеріали 15-ї Міжнародної міждисциплінарної науково-практичної конференції 30 квітня – 9 травня 2011, м. Алушта-Харків, «Українська асоціація «Жінки в науці та освіті». Харківський нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна, 2011. – С. 11–22.

9. Тернюк, М. Е. Фундаменталізація технічних наук [Текст] / М. Е. Тернюк, О. В. Авдеєнко // Новий коллегіум (Науковий інформаційний журнал. Проблеми вищої освіти). – 2007. – № 2. – С. 19–25.

Надійшла до редакції 17.01.2014, розглянута на редколегії 12.02.2014

Рецензент: д-р екон. наук, проф., зав. каф. управління фінансовими послугами **Н. Н. Внукова**, Харківський національний економічний університет, г. Харків.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВАРІАТОРІВ ТА ЇЇ ЗАЛЕЖНІСТЬ ВІД РІВНЯ ІЄРАРХІЇ ТА МІСЦЯ У ЦИКЛОВІЙ СТРУКТУРІ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

**Р. Й. Козут, О. М. Печеник, В. Г. Сальников,
О. Д. Сердюк, М. Е. Тернюк**

Розглянуто залежність показників економічної та енергетичної ефективності від застосування варіаторів на різних місцях в ієрархічних системах, які реалізують циклові функції речовино-енерго-інформаційних

перетворень. Показано, що ефективність підвищується при зростанні ієрархічного рівня, а також при наближенні місця встановлення варіаторів до робочого органу, який реалізує циклове перетворення в транспортній системі. Запропоновано нову, альтернативну традиційній, трансмісію на основі силових зубчастих варіаторів.

Ключові слова: ефективність, варіатори, рівні ієрархії, місце в структурі елементів, циклові функції.

ECONOMIC EFFICIENCY OF THE VARIATOR AND ITS DEPENDENCE ON LEVEL OF THE HIERARCHY AND A PLACE IN THE CYCLIC STRUCTURE MANUFACTURING SYSTEMS

*R.J.Kogut, A.N.Pechenik, V. G. Salnikov,
A. D. Serduk, M. E. Ternyuk*

The thesis considered the dependence of values of economic and energy efficiency on use of variators in various positions of hierarchical systems, which implement cyclic functions of material-energoinformational transformations. It is shown that efficiency is increased in case of growth of hierarchical level and in case of arrangement of variator installation place closer to actuating element, which fulfills the cyclic transformation in the transport system. New, alternative to traditional, transmission based on power toothed variator are proposed.

Key words: efficiency, variators, hierarchy levels, position in structure of elements, cyclic functions.

Когут Роман Йосипович – соискатель учёной степени, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, начальник Львовской областной инспекции по энергосбережению, г. Львов.

Печеник Алексей Николаевич – соискатель учёной степени, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, начальник Киевской областной инспекции по энергосбережению, г. Киев.

Сальников Вячеслав Григорьевич – аспирант, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков.

Сердюк Александр Дмитриевич – канд. физ.-мат. наук, заместитель директора, Международный институт Машин и Систем, г. Харьков, e-mail: ads44@mail.ru.

Тернюк Николай Эммануилович – д-р техн. наук, профессор, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков, e-mail: imisnet@ukr.net.