

УДК 629.4

И.К. АЛЕКСАНДРОВ, д-р техн. наук

Вологодский государственный технический университет, Россия

## ГРУЗОВОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПОЕЗД МОДУЛЬНОГО ТИПА

В статье дается теоретическое обоснование эффективности замены традиционной схемы грузового железнодорожного поезда, представляющего цепь последовательно подсоединенных вагонов к локомотиву, на модульную схему, где состав комплектуется из нескольких самостоятельных блоков (модулей), параллельно подключенных к контактной электрической сети и состоящих из тягового (моторного) вагона, к которому присоединяются несколько стандартных (неприводных) вагонов.

**Ключевые слова:** подвижной состав, модульная схема, кинематическая цепь, энерго-экономический анализ, блок-схема

**Введение.** В работах автора [1—6 и др.] доказывается энергетическая нецелесообразность передачи механической энергии за счет многозвенных, разветвленных кинематических цепей (КЦ) и показано, что во многих конструктивных решениях деление потока мощности гораздо эффективнее осуществлять за счет электрифицированных систем, а зачастую даже гидравлические передачи оказываются более рациональными, чем сложные механические трансмиссии.

В статье сделан предварительный энерго-экономический анализ одной из таких разветвленных КЦ, которая получила широкое применение в планетарном масштабе, но, на наш взгляд, в целях принципиального повышения ее эффективности нуждается в серьезной модернизации. Такую энергетически нерациональную разветвленную КЦ представляет грузовой железнодорожный состав, где передача тя-

гового усилия от локомотива на колесные пары вагонов осуществляется за счет последовательно-параллельной разветвленной КЦ.

В качестве альтернативы традиционной схеме железнодорожного состава предлагается вариант, где кинематические связи существенно упрощены и частично заменены электрическими. Назовем такую схему комплектования железнодорожного состава модульной. Модуль представляет собой комплексную единицу подвижного состава, состоящую из снабженного приводным электродвигателем тягового вагона, к которому подсоединяются один или несколько обычных (неприводных) вагонов.

**Энергетический анализ.** Для анализа рассматриваемых КЦ можно использовать принцип построения блок-схемы КЦ, который подробно описан в работе [6]. На рисунке 1 а и б приведены соответ-

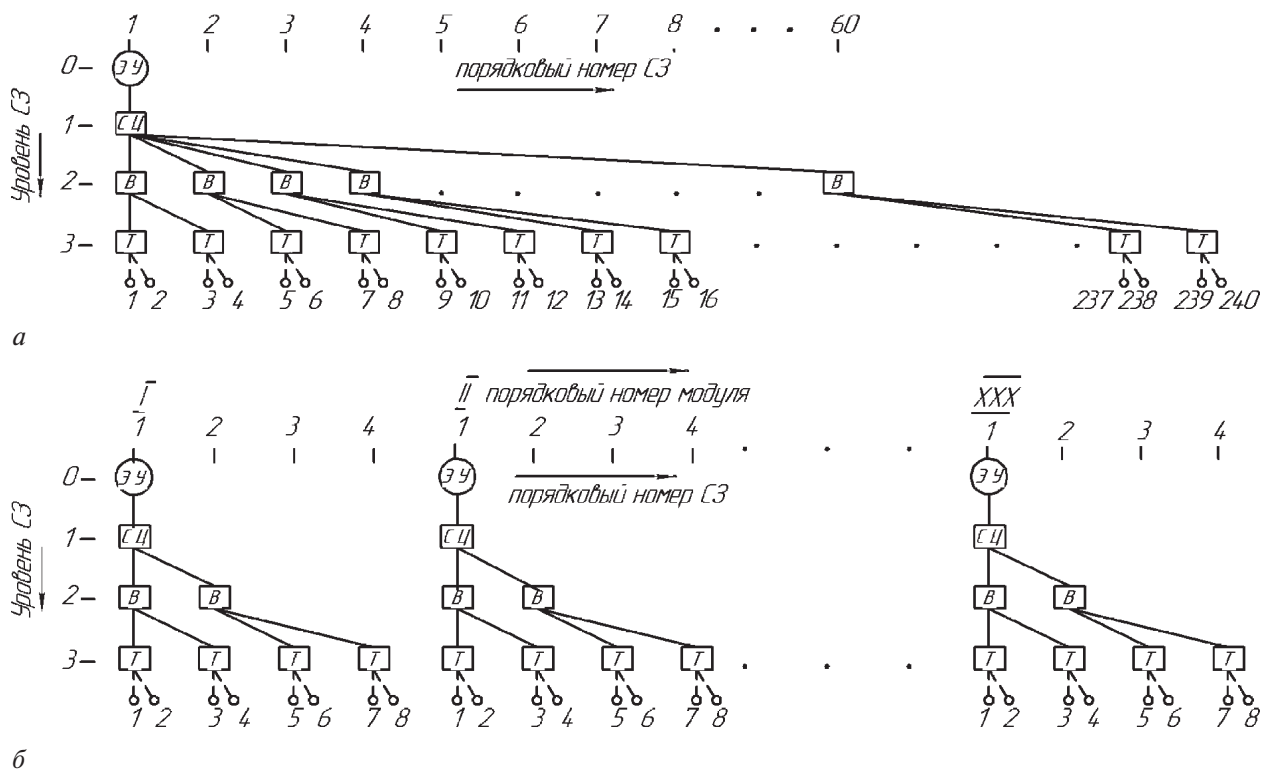


Рисунок 1 — Блок-схема кинематической цепи: а — поезд с локомотивом; б — поезд, составленный из двухвагонных модулей

ственно блок-схема традиционного поезда с локомотивом и блок-схема поезда модульного типа, где модуль составлен из двух вагонов.

В соответствии с методикой [6] составления блок-схем введено понятие «собирательное звено» (СЗ). Это такой элемент КЦ, который объединяет (собирает) несколько потоков мощности. Каждое СЗ маркируется по уровню удаления его от энергетической установки (ЭУ), и ему присуждается порядковый номер на данном уровне. ЭУ также принимают как СЗ на нулевом уровне с порядковым номером 1, т.е. СЗ 0,1.

СЗ соединяются между собой внутренними КЦ (обозначены сплошной линией). От любого СЗ могут ответвляться внешние КЦ (обозначены штриховой линией), которые заканчиваются рабочим органом, непосредственно совершающим полезную работу. Конкретно в нашем случае таким «рабочим органом» является колесная пара.

Чтобы читателю проще было воспринимать указанные схемы применительно к железнодорожному составу, отметим: СЗ 1-го уровня — система сцепных устройств поезда (сцепка); СЗ 2-го уровня — вагоны; СЗ 3-го уровня — вагонные тележки, которые объединяют колесные пары.

Для проведения энергетического расчета КЦ, который заключается в определении непроизводительных потерь в цепи и требуемой мощности ЭУ, необходимо располагать энергетическими характеристиками каждого элемента КЦ: предельным значением КПД и его моментом холостого хода (или усилием, обеспечивающим его движения при отсутствии внешней нагрузки). Для этого необходимо провести соответствующие экспериментальные исследования (что является одной из задач последующих исследований).

На данном этапе исследований не ставится цель определения абсолютной величины суммарных потерь в кинематической цепи поезда, а делается попытка оценить влияние на энергоэффективность КЦ одного ее элемента — сцепного устройства при передаче энергетического потока (тягового усилия) от энергоустановки (локомотива) к вагонам. При этом конструктивные параметры вагонных тележек, колесных пар, т.е. элементов кинематической цепи 2-го и 3-го уровня остаются без изменений.

Предварительный сопоставительный энергетический анализ двух схем комплектования поезда проведем по упрощенной методике, используя условную тяговую единицу (Т.Е.) измерения. 1(одна) Т.Е. есть безразмерная величина, символизирующая значение тягового усилия, необходимого для транспортирования одного груженого вагона с заданной скоростью по горизонтальному участку пути, которое учитывает потери на перекатывание колесных пар, аэродинамические потери, потери в подшипниках колесных пар, потери в подпрессоренной вагонной тележке.

Из схем, представленных на рисунке 1, очевидно, что КПД модуля выше, чем КПД поезда с ло-

комотивом, т.к. в последнем случае используется значительно большее количество внутренних КЦ, каждая из которых создает дополнительные энергетические потери. Заметим, что КПД модуля однозначно определяет и КПД всего поезда, составленного из этих модулей.

На рисунке 2 а показан традиционный состав с локомотивом и представлено изменение тягового усилия, возникающего в сцепке между вагонами, которое пропорционально возрастает по мере приближения вагона к локомотиву. Как уже указывалось выше, тяговое усилие определяем в Т.Е. Для рассмотрения в качестве примера принят состав из 60-ти вагонов.

На рисунке 2 б изображены те же показатели применительно к составу из 60-ти вагонов, но сформированному из трехвагонных модулей.

Преимущества последней схемы очевидны:

- 1) в модульной схеме значительная часть внутренних КЦ заменена электрическими связями за счет прямого соединения ЭУ тягового вагона с контактной сетью;
- 2) каждый «тяговый» вагон перемещение самого себя осуществляет самостоятельно, без использования сцепного устройства;
- 3) в сцепке между модулями также отсутствует тяговое усилие;
- 4) тяговое усилие, передаваемое на первый вагон поезда с локомотивом, составляет 60 Т.Е., в то вре-

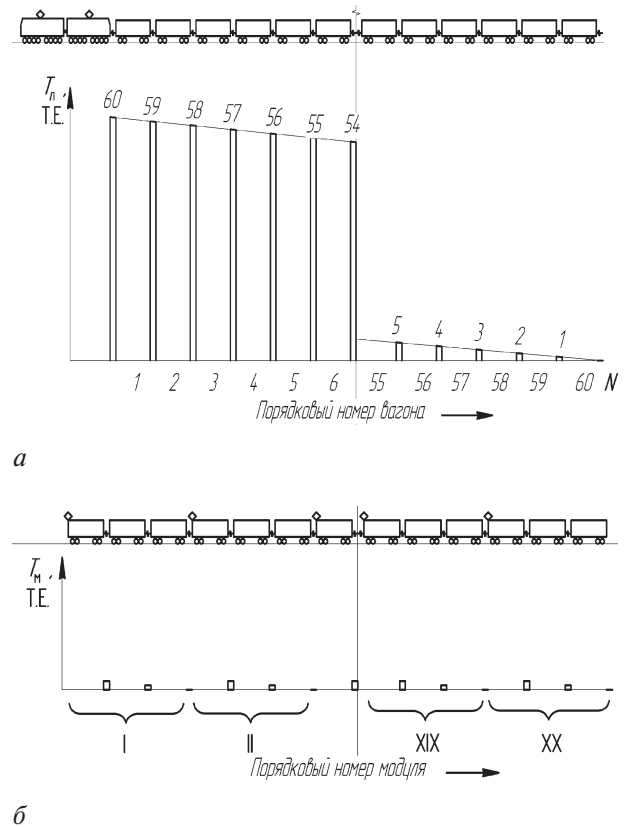


Рисунок 2 — Изменение тягового усилия (определяемого в условных тяговых единицах) в сцепке между вагонами: а — поезд с локомотивом; б — поезд, составленный из трехвагонных модулей

мя как максимальное тяговое усилие в данном модуле — всего 2 Т.Е.

Первые три условия обеспечивают снижение энергопотребления модульным поездом за счет уменьшения непроизводительных потерь в сцепном устройстве (подробно см. ниже).

Четвертое условие принципиально меняет требования к конструкции вагона. Дело в том, что разрывное усилие, а соответственно и ударная нагрузка, передаваемая на нижнюю раму первого вагона (а в составе с локомотивом любой вагон может оказаться первым), как видно из представленных схем, *в 30 раз больше, чем максимальное значение этого усилия в модуле!* Соответственно значительно может быть уменьшена и металлоемкость несущей рамы вагона, воспринимающей пониженное разрывное (ударное) усилие. С учетом того, что масса тележек, бортов вагона, платформы остаются без изменений, то (по предварительным расчетам) масса порожнего вагона будет снижена примерно на 12—15%. За счет чего появляется возможность пропорционально увеличить массу перевозимого вагоном груза (нетто).

**Повышение энергоэффективности состава за счет снижения фрикционных потерь в сцепном устройстве при использовании модульной схемы.** Суммарное тяговое количество  $T_{л}$  тяговых единиц, передаваемое через сцепные устройства поезда с локомотивом, определяем по формуле

$$T_{л} = \frac{N(N+1)}{2}, \text{ Т.Е.}, \quad (1)$$

где  $N$  — количество вагонов в составе, шт.

Чтобы определить абсолютную величину фрикционных потерь  $T_{фр}$  в сцепке необходимо экспериментально установить КПД ( $\eta_{сц}$ ) сцепного устройства (одна из задач предстоящих экспериментальных исследований)

$$T_{фр} = (1 - \eta_{сц}) \cdot T_{л}, \text{ Т.Е.} \quad (2)$$

Если сцепное устройство представить как механический компенсатор, то можно допустить  $\eta_{сц} \approx 0,96$ . То есть ориентировочно безвозвратно теряется в каждом сцепном устройстве около 4% величины действующего в нем тягового усилия.

Таблица 1 — Зависимость  $z$  от количества  $n$  вагонов в модуле

Количество вагонов в модуле $n$	Количество тяговых единиц в модуле $z$
2	1
3	3
4	6
5	10
6	15

Суммарное количество  $T_{м}$  тяговых единиц, передаваемого через сцепные устройства поезда модульного типа, определяем по формуле

$$T_{м} = \frac{N}{n} \cdot z, \text{ Т.Е.}, \quad (3)$$

где  $n$  — количество вагонов в модуле;  $z$  — суммарное количество тяговых единиц в модуле, Т.Е. Зависимость  $z$  от количества  $n$  вагонов в модуле представлена в таблице 1.

Энергетическую эффективность от применения модульной схемы оцениваем коэффициентом  $K_{сн}$  снижения нагрузки на сцепное устройство

$$K_{сн} = \frac{T_{м}}{T_{л}} = \frac{2z}{n(N+1)}. \quad (4)$$

Дискретная функция  $Z = f(n)$  определяется соотношением  $Z_{i+1} = Z_i + n_i$ .

В таблице 2 показано влияние на коэффициент снижения нагрузки на сцепное устройство и величину фрикционных потерь в сцепке числа вагонов в модуле с учетом общего количества вагонов в составе.

В рассматриваемом примере величина  $N$  стабилизирована в пределах 60 вагонов. По аналогии с представленным примером, используя зависимости (1)...(4), можно выполнить расчеты для различных сочетаний  $N$  и  $n$ .

Приведенный в таблице 2 сопоставительный анализ, выполненный в рамках упрощенного экспресс-метода, может быть представлен также в виде интегрального критерия, названного нами коэффициентом энергетической эффективности (КЭЭ) силовой установки, который достаточно близок к значению КПД сцепного устройства (см. ниже).

Таблица 2 — Влияние числа вагонов в модуле на коэффициент снижения нагрузки на сцепное устройство и величину фрикционных потерь в сцепке с учетом общего количества вагонов в составе

Количество вагонов в модуле $n$	Количество вагонов в составе $N$	Количество тяговых единиц в модуле $Z$	Коэффициент снижения нагрузки на сцепное устройство $K_{сн}$	Фрикционные потери в сцепке поезда с локомотивом, $(1 - \eta_{сц}) \cdot T_{л}$ , Т.Е.	Фрикционные потери в сцепке модульного поезда, $(1 - \eta_{сц}) \cdot T_{м}$ , Т.Е.
2	60	1	0,016	73,2	1,2
3	60	3	0,032	73,2	2,4
4	60	6	0,046	73,2	3,6
5	60	10	0,066	73,2	4,8
6	60	15	0,081	73,2	6

В качестве величины полезной работы, совершаемой ЭУ, примем тяговое усилие, необходимое для транспортирования всех вагонов поезда, которое численно равно количеству вагонов в поезде, умноженному на условную тяговую единицу:  $T_{пол} = N \times 1 \text{ Т.Е.}, \text{ Т.Е.}$

За величину непроизводительных потерь примем фрикционные потери в сцепке поезда  $T_{фр}, \text{ Т.Е.}$

Тогда по аналогии с понятием КПД предложенный критерий для поезда с локомотивом определится по выражению

$$KЭЭ_{л} = \frac{T_{пол}}{T_{пол} + T_{фр}} = \frac{N}{N + (1 - \eta_{сц})T_{л}},$$

или после преобразования

$$KЭЭ_{л} = \frac{1}{1 + (1 - \eta_{сц}) \frac{N+1}{2}}. \quad (5)$$

Определим коэффициент энергетической эффективности ЭУ для поезда, скомплектованного из модулей

$$KЭЭ_{м} = \frac{N}{N + (1 - \eta_{сц})T_{м}} = \frac{N}{N + (1 - \eta_{сц}) \frac{N}{n}z},$$

или после преобразования

$$KЭЭ_{м} = \frac{1}{1 + (1 - \eta_{сц}) \frac{z}{n}}. \quad (6)$$

На основании формулы (6) еще раз убеждаемся в том, что КПД модульного состава не зависит от количества вагонов в поезде.

В таблице 3 приведены результаты расчета КЭЭ для различных вариантов комплектаций состава при условии  $\eta_{сц} \approx 0,96$ .

На первый взгляд, очевидно энергетическое преимущество двухвагонного модуля. Однако решение по выбору оптимального модуля может быть выполнено только на основе экономического обоснования. Что также является направлением предстоящих исследований. При этом следует учесть, что тяговый вагон может менять категорию, т.е. количеством прицепных вагонов можно варьировать в зависимости от их собственной массы и степени загрузки последних.

Еще одно преимущество модульной схемы, наличие которого также не вызывает никаких сомнений, заключается в существенном повышении эксплуатационного КПД подвижного состава.

Таблица 3 — Результаты расчета КЭЭ для различных вариантов комплектаций состава при условии  $\eta_{сц} \approx 0,96$

Варианты комплектации состава	Поезд с локомотивом 60 вагонов	2-вагонный модуль	3-вагонный модуль	4-вагонный модуль	5-вагонный модуль	6-вагонный модуль
КЭЭ	0,45	0,98	0,96	0,94	0,92	0,91

Любой локомотив имеет вполне определенную (конечную) установленную мощность, которая реализуется на 100 % только при условии транспортирования большегрузного поезда, что в реальных условиях эксплуатации подвижного состава далеко не всегда может быть обеспечено. Таким образом, зачастую силовая установка локомотива оказывается недогруженной, а пропорционально снижению нагрузки на локомотив уменьшается его эксплуатационный КПД, который достигает нулевого значения при холостом перегоне.

При использовании модульной схемы этот недостаток автоматически исключается, т.к. суммарная установленная мощность всех тяговых вагонов не является фиксированной величиной, а определяется прямо пропорционально количеству вагонов в составе. Таким образом, *эксплуатационный КПД модульного состава независимо от его (состава) общей грузоподъемности остается стабильно равным единице!*

Модульная схема снимает также и проблему ограничения общей грузоподъемности поезда. Можно комплектовать состав любой грузоподъемности, ограничение количества вагонов в составе определяется только максимальной электрической мощностью контактной сети.

Принципиальное преимущество модульной схемы заключается также в расширении возможности рекуперации электрической энергии в контактную сеть при торможении (остановке) поезда путем электродинамического торможения энергоустановками тяговых вагонов. За счет чего в большинстве случаев при снижении скорости движения поезда будет обеспечиваться преобразование кинетической энергии поезда в электрическую и возврат ее в контактную сеть (по результатам проведенных нами экспериментальных исследований троллейбусов среднее значение коэффициента рекуперации около 30 %!).

Возможности использования для этой цели локомотива существенно ограничены ввиду недостаточности силы его сцепления с железнодорожным полотном. Поэтому торможение традиционного поезда производится исключительно за счет механической системы торможения вагонов состава.

И еще один недостаток традиционной схемы. Локомотив, имеющий массу до 300 т, создает динамическую (является мощным источником вибрации), сосредоточенную нагрузку, разрушающе действующую на железнодорожные мосты, пути и окружающие строения. При использовании модульной схемы мы избегаемся от этого разрушительного объекта.

Выше в качестве интегрального критерия нами был использован КЭЭ, который позволил применить упрощенную методику сопоставительного анализа энергетической эффективности модульной схемы формирования железнодорожного состава в сравнении с традиционной. Дело в том, что в рамках предварительного анализа не ставится цель получения интегрального критерия с высокой степенью достоверности, но очень важным является

убедительность доказательства принципиальных преимуществ предлагаемого технического решения.

Теперь представим более строгое доказательство зависимости, определяющей энергетические потери в сцепном устройстве поезда с локомотивом. Сразу отметим, что в последовательной кинематической цепи имеет место нелинейное нарастание фрикционных потерь [2, 4]. Эта нелинейность возрастает с увеличением длины КЦ (см. ниже). Таким образом, если применительно к модулю, объединяющего небольшое количество вагонов, КПД сцепного устройства можно принять постоянным, то для состава с локомотивом такое допущение приводит к существенной ошибке (сопоставьте результаты расчета по упрощенной и уточненной методикам).

Так же, как это было принято выше, для анализа используем условную тяговую единицу (Т.Е.).

На рисунке 3 изображена схема, по которой можно понять как изменяется соотношение между усилием тяги, обеспечивающим работу по транспортированию вагонов, и суммарным усилием тяги на локомотиве с учетом непроизводительных (фрикционных) потерь в сцепке.

Усилие тяги, необходимое для транспортирования  $N$  вагонов, будем считать показателем, определяющим полезную работу, выполняемую локомотивом:  $T_{пол} = N \times 1 \text{ Т.Е.}$  Поэтому в расчетах принимаем условие

$$T_{пол} = N. \quad (7)$$

Суммарное тяговое усилие  $T_{\Sigma}$  на локомотиве определяется суммой усилий  $T_i$  на транспортирование каждого ( $i$ -го) вагона с учетом фрикционных потерь, возникающих в сцепном устройстве под действием этого  $i$ -го усилия при передаче его по данному элементу кинематической цепи. С учетом понятия  $T_p$ , принимая величину  $\eta_{сц}$  в качестве КПД сцепного устройства, запишем зависимость для определения суммарного тягового усилия на локомотиве:

$$T_{\Sigma} = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_i + \dots + T_N = \frac{1}{\eta_{сц}} + \frac{1}{\eta_{сц}^2} + \frac{1}{\eta_{сц}^3} + \dots + \frac{1}{\eta_{сц}^i} + \dots + \frac{1}{\eta_{сц}^N} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{сц}^i}. \quad (8)$$

На основе зависимостей (7) и (8) определяем КПД сцепного устройства поезда

$$\eta_{л} = \frac{N}{T_{\Sigma}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\eta_{сц}^i}}. \quad (9)$$

Ниже (таблица 4 и рисунок 4) приведены результаты энергетического расчета сцепного устройства грузового поезда, проведенного на основе ука-

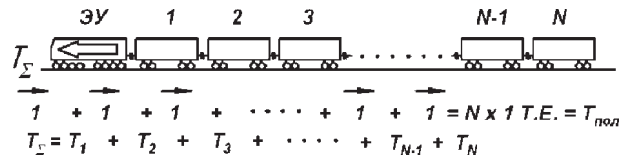


Рисунок 3 — К определению  $T_{пол}$  и  $T_{\Sigma}$

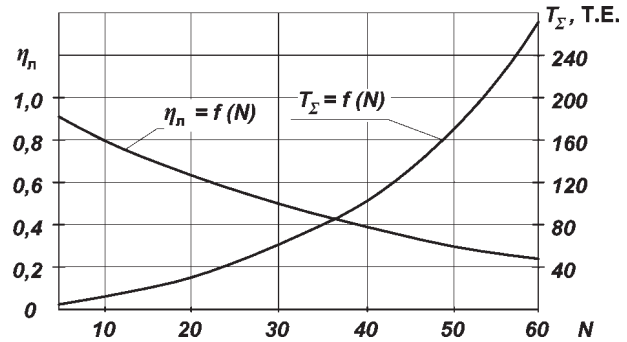


Рисунок 4 — Зависимости КПД  $\eta_{л}$  сцепного устройства поезда и тягового усилия  $T_{\Sigma}$  на локомотиве от количества  $N$  вагонов в составе

занных зависимостей. Расчет выполнен при условии, что КПД одного элемента сцепного устройства  $\eta_{сц} = 0,96$ .

Рассматриваемая кинематическая цепь энергетически иррациональна — увеличение тягового усилия и, соответственно, количества транспортируемых вагонов приводит к резкому снижению КПД энергоустановки, т.к. значительная часть ее энергии затрачивается на преодоление непроизводительных потерь, возникающих в сцепном устройстве. Возникает парадокс: *чем больше мощность энергетической установки, тем ниже ее энергетическая эффективность.* С применением модульной схемы комплектования железнодорожного состава этот недостаток практически исключается.

Поскольку КПД сцепки определяется показательной функцией, то, естественно, значение его очень чувствительно к величине основания  $\eta_{сц}$  функции. На данный момент нам эта величина не известна, поэтому необходимы соответствующие экспериментальные исследования. Вероятнее всего, что эта величина не имеет постоянного значения, а существенно зависит от качества железнодорожного полотна.

В связи с очевидной энергетической неэффективностью сверхмощных локомотивов хотелось бы подчеркнуть неоправданность существующей тенденции к их развитию. В частности, в настоящее время «пробиваются» на железную дорогу в качестве локомотивов газотурбовозы. Энергетическая установка этих локомотивов включает в себя газо-

Таблица 4 — Результаты энергетического расчета сцепного устройства грузового поезда

Количество вагонов в составе	5	10	20	30	40	50	60
Суммарное тяговое усилие, Т.Е.	5,66	12,6	31,56	60,08	103	167,5	264,5
КПД сцепного устройства	0,883	0,793	0,634	0,5	0,388	0,3	0,23

вую турбину, работающую на природном сжатом газе и приводящую в действие электрогенератор, от которого электрическая энергия передается тяговым двигателям движителя локомотива.

Непонятно: какой смысл для осуществления тяги каждого отдельного грузового поезда таскать впереди его тяжеленную электростанцию мощностью 8300 кВт (8,3 МВт) и необходимый для ее работы запас топлива? К тому же из опыта эксплуатации хорошо известно, что сжатый газ в любой емкости является весьма взрывоопасным объектом!

На наш взгляд, гораздо рациональнее в тех регионах, где отсутствует централизованное энергообеспечение, установить эти турбовозы вдоль магистрали стационарно и запитывать от них контактную сеть, а через нее, соответственно, и легкие тяговые электроустановки модульных поездов! При такой схеме энергоснабжения снимаются жесткие конструктивные требования, предъявляемые к массе и скоростным режимам движения газотурбовоза, и гораздо в большей степени обеспечивается взрывобезопасность энергоустановки, т.к. она будет осуществлять разовое перемещение по железнодорожному пути на минимальной скорости.

**Заключение.** Итак, модульная схема комплектования грузового железнодорожного состава имеет целый ряд преимуществ:

- энергетическая эффективность;
- многократное снижение разрывной (ударной) нагрузки на нижнюю раму вагона и возможное за счет этого снижение собственной массы вагона;
- возможность рекуперации электрической энергии в контактную сеть (до 30 %) за счет электродинамического торможения поезда энергоустановками тяговых вагонов;
- высокий эксплуатационный КПД подвижного состава за счет исключения недогрузки тяговых установок модулей поезда, т.к. суммарная установленная мощность этих установок всегда прямо пропорциональна количеству вагонов поезда;
- возможность комплектования поезда любой грузоподъемности (количество вагонов в составе ограничивается только электрической мощностью

контактной сети), иными словами, появляется возможность комплектования супердлинносоставных поездов;

- исключается потребность в использовании локомотива увеличенной мощности — источника сосредоточенной динамической нагрузки, разрушающей транспортные пути, мосты и окружающие объекты.

Для внедрения этой перспективной технологии в жизнь необходимо обеспечить тесное сотрудничества специалистов самого различного профиля, из которых основополагающими являются следующие направления: электропривод, управляющие и вычислительные системы (необходимо решить проблему управления и согласования работы электродвигателей тяговых вагонов), сопротивление материалов, конструирование машин и механизмов, трибология, экономика.

Поскольку данный проект требует привлечения значительных материальных и трудовых ресурсов, то, следовательно, он может быть реализован только в рамках государственного заказа.

#### Список литературы

1. Александров, И.К. Определение потерь в механических трансмиссиях с учетом нагрузочных режимов / И.К. Александров // Техника в сельском хозяйстве. — 1999. — № 1. — С. 20—24.
2. Александров, И.К. Энергетическая неэффективность разветвленных кинематических цепей / И.К. Александров // Вестн. машиностроения. — 2010. — № 4. — С. 20—28.
3. Александров, И.К. Определение потерь в кинематических парах и механических трансмиссиях на основе закона Амонтона-Кулона / И.К. Александров // Вестн. машиностроения. — 2010. — № 5. — С. 8—15.
4. Aleksandrov, I.K. Determining the Losses in Kinematic Pairs and Mechanical Transmissions on the Basis of the Amontons-Coulomb // Russian Engineering Research. — 2010. — Vol. 30, No 5. — Pp. 435—441.
5. Aleksandrov, I.K. Energy Inefficiency of Branched Kinematic Chains // Russian Engineering Research. — 2010. — Vol. 30, No 4. — Pp. 335—342.
6. Александров, И.К. Энергетический анализ механизмов и машин. Теоретическое и экспериментальное обоснование принципов исследования и определения энергетических потерь в механизмах и машинах: монография / И.К. Александров. — Вологда: ВоГТУ, 2011. — 244 с.
7. Александров, И.К. Характерная методологическая ошибка при анализе фрикционных сил в паре трения / И.К. Александров // Механика машин механизмов и материалов. — 2011. — № 3. — С. 59—63.

Alexandrov I.K.

#### Freight railway train of modular type

This paper gives theoretical substantiation for the effectiveness of replacing the traditional scheme of freight train, representing a chain of cars all successively connected to the locomotive by a modular scheme, where the rolling stock is assembled of several independent blocks (modules) connected in parallel to the contact electrical network consisting of a traction (motor) car, joined by several standard (non-drive) cars.

Поступила в редакцию 11.04.2012.

**КОММЕНТАРИЙ****к статье Александрова И.К. «Грузовой железнодорожный поезд модульного типа»**

В статье автор предлагает применить принцип деления потока мощности для железнодорожных грузовых поездов путем модульного комплектования железнодорожных составов, однако из статьи видно, что у автора отсутствует понятие об организации железнодорожных перевозок, кроме того в списке использованной литературы нет ни одного источника по железнодорожной тематике, что также говорит об отсутствии анализа специфики железнодорожного транспорта: существующих конструкций грузовых вагонов, технологий формирования грузовых поездов, погрузочно-разгрузочных операций, системы их технического обслуживания т.д. Учитывая эту специфику, использование предлагаемого принципа для железнодорожных грузовых поездов экономически нецелесообразно. Вот только некоторые моменты, которые говорят о неприменимости данного принципа для грузовых железнодорожных перевозок:

1. Предположение, что ограничение количества вагонов в составе определяется только максимальной электрической мощностью контактной сети неверно, так как количество вагонов в поезде, а следовательно длина состава, кроме всего прочего, ограничено длиной и занятостью путей в парках приема, формирования и отправления поездов.

2. Существующие конструкции грузовых вагонов, а также технологии погрузочно-разгрузочных работ (верхняя загрузка, разгрузка на вагонопрокидывателях и т.д.) исключают возможность оборудования на них токосъемников и тяговых электродвигателей на тележках. Если же для реализации данного принципа использовать отдельные единицы тягового подвижного состава (условно назовем

их «мини-локомотивы»), то при той же массе нетто перевозимого груза, длина и масса брутто состава увеличатся до 50 % для двухвагонных модулей, до 30 % для трехвагонных модулей и т.д. И наоборот, при существующих ограничениях длины состава будет соответственно уменьшена масса перевозимого груза, что ведет к значительному снижению доходности перевозок при колоссальных затратах на проектирование и изготовление «мини-локомотивов», организацию их технического обслуживания (постройку цехов, участков, линий в существующих депо и новых депо) и т.д.

3. Отдельная проблема — синхронизация тяговых усилий передаваемых на колесные пары «мини-локомотивов» при движении, особенно по неровному в вертикальной плоскости пути (профилю), при переломах профиля (подъем-уклон и наоборот). Передача управляющих сигналов по проводам вдоль грузового состава невозможна по причине низкой надежности межвагонных соединений и другим причинам. Применение систем радиопередачи приведет к еще большему увеличению затрат.

4. Формирование железнодорожных составов происходит в основном путем роспуска вагонов с горки, при этом формируются сразу несколько составов. Подача «мини-локомотивов» к каждому составу через определенное количество вагонов в несколько раз увеличит время обработки составов в парках формирования, а, следовательно, и время доставки грузов, что негативно скажется на конкурентоспособности железнодорожных перевозок.

Исходя из выше сказанного, считаю применение предлагаемого автором статьи принципа к грузовым железнодорожным перевозкам невозможным.

**А.В. Коваленко,**  
канд. техн. наук, доцент

**ОТВЕТ АВТОРА НА КОММЕНТАРИЙ****к статье «Грузовой железнодорожный поезд модульного типа»**

Обоснование иррациональности кинематической цепи поезда с локомотивом выполнено с позиции законов физики и теории механизмов и машин, а не с позиции существующей организации железнодорожных перевозок. Автор как раз и предлагает железнодорожникам провести всесторонние поисковые исследования и опытно-

конструкторские работы в данном направлении, т.к. речь идет о весьма существенном повышении энергетической эффективности грузовых железнодорожных перевозок!

Очень хорошо, что у оппонента есть критические замечания, но они абсолютно не подтверждают его вывод: «... считаю применение предлагае-

мого автором статьи принципа к грузовым железнодорожным перевозкам невозможным».

**Ответ на замечание 1.** Оппонент смешивает два понятия: максимально технически достижимую длину состава, которая ограничивается электрической мощностью контактной сети, и требуемую длину состава из условий ограниченности длины путей в парках приема или иных эксплуатационных условий. Из модулей можно формировать состав любой (желаемой) длины. При этом интересно то, что удельные энергозатраты на единицу массы перевозимого груза остаются стабильными.

Теперь по поводу того, что длинный модульный состав не размещается на станции. В этом случае мы имеем возможность разделить его на секции при подходе к станции. А вот что мы будем делать, если придет на станцию супердлинный состав, транспортируемый газотурбовозом, который обязан тащить именно супердлинный состав, чтобы оправдать свои 8,3 МВт? Ведь у этого состава нет подвижных секций?

**Ответ на замечание 2.** А вот здесь уважаемый оппонент собственную фантазию выдает за мою. Я не предлагаю (хотя и не исключаю в качестве первоначального, испытательного технического решения) использовать «мини-локомотивы». Речь идет о применении крытых тяговых вагонов, которые будут использованы для перевозки ценных грузов, а, естественно, не для загрузки сыпучих материалов. При этом грузоподъемность этих вагонов приблизительно должна быть равна грузоподъемности обычных крытых вагонов (предполагаем, что масса привода в какой-то степени компенсируется снижением металлоемкости рамы модульного

вагона). Короче говоря, в качестве первой (приближенной) модели можно принять уже существующий тяговый вагон электропоезда.

Однако соглашаюсь с оппонентом в той части, что технология загрузки открытых (не тяговых) вагонов, возможно, потребует модернизации.

**Ответ на замечание 3.** При современном развитии управляемого электропривода синхронизация работы нескольких приводов — это дипломный проект выпускника вуза.

**Ответ на замечание 4.** По поводу использования при формировании железнодорожных составов метода (я бы уточнил — зверского метода, калечащего подвижной состав) роспуска вагонов с горки.

Эта устаревшая технология, на смену которой должны придти иные приемы формирования состава. В частности, известны (желательно, чтобы оппонент тоже с ними познакомился) разработки немецких специалистов вагонов с автономным тяговым приводом с целью снижения времени на маневровые операции и времени оборота вагонов (см. «Железные дороги мира», 2010 г.). Так что утверждение оппонента в отношении снижения конкурентоспособности предлагаемой технологии достаточно спорно. Как, впрочем, и его окончательное резюме: «... считаю применение предлагаемого принципа к грузовым железнодорожным перевозкам невозможным».

Чем дольше мы будем дискутировать на тему о возможности и невозможности реализации предлагаемого технического решения, тем больше вероятность реального воплощения идеи за рубежом! Уже четыре мои статьи опубликованы в США (редакция «Allerton Press», Russian Engineering Research).

С уважением,  
д-р техн. наук, профессор Александров И.К.

## ОТ РЕДАКЦИИ

Заявляемый принцип достаточно универсален, имеет отношение также к многозвенным автотранспортным средствам, по которым в журнале представлен ряд публикаций. Отметим, что автор в своих исследованиях опирается на эксперименты с автомобильной техникой, например: Александров, И.К. Энергетическая неэффективность разветвленных кинематических цепей / И.К. Александров // Вестн. машиностроения. — 2010. — № 4. — С. 20—28 и другие работы.

Необходимо различать научно-технический и экономический аспект рассматриваемой пробле-

мы. Автор статьи в большей степени затрагивает ее научно-техническую сущность. В комментарии говорится о реалиях сегодняшнего дня, дорогах стран постсоветского пространства, конструкциях вагонов и технологиях перевозок. Преобразования, необходимые для реализации предлагаемого автором принципа потребуют не только привлечения значительных материальных и трудовых ресурсов, как указано в статье, но и займут не одно десятилетие.

Приглашаем высказаться по рассматриваемой проблеме заинтересованных специалистов.