

УДК 621.866.2

Попель О.Е. к.т.н., Олещук О.В. к.т.н.

## К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ВИНТОВЫМИ ЭЛЕКТРОДОМКРАТАМИ ТИПА ДТ-40

Одним из пунктов обновленной Энергетической стратегии Украины на период до 2030 года, утвержденной 24 июля 2013 года, предусматривается значительное снижение потребления энергоресурсов в экономике [1]. Среди мощных потребителей электроэнергии предприятия «Укрзалізниці» занимают не последнее место.

Украина, имея выгодное, исторически сложившееся, географическое положение, является одним из главных участников транспортной системы Европа-Азия. Через Украину проходят: четыре из десяти международных транспортных коридора (МТК) – № 3, № 5, № 7 (водный), №9; шесть коридоров Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД): № 3, № 4, № 5, № 7, № 8 и № 10 [2]. Кроме этого Украина в 1996 году присоединилась к участию в проекте международного транспортного коридора Европа-Кавказ-Азия (TRACECA), а совместно с Польшей, начала реализацию проекта МТК Гданськ-Одесса. Всё это, с учетом выходов к морю и разветвленной транспортной инфраструктурой, выводит Украину на первое место в Европе, третье в Евразии и 6-е в мире по показателю коэффициента транзитности.

Через транспортную сеть «Укрзалізниці» перевозятся грузы и пассажиры в направлениях Запад-Восток, Север-Юг. Железные дороги Украины непосредственно взаимодействуют с железными дорогами Российской Федерации, Беларуси, Молдовы, Польши, Словакии, Венгрии и Румынии через 56 пунктов перехода границы. Особое внимание следует обратить на пункты перехода со странами Евросоюза (на границах со странами Евросоюза работают 13 железнодорожных станций), через которые объем перевозок грузов «Укрзалізниці», например, за период январь-октябрь 2013 года составил  $39,4 \times 10^6$  тонн [3].

Исторически сложилось так, что ширина железнодорожной колеи основных магистралей Украины по стандарту составляет 1520 мм, а в Европе – 1435 мм.

Разница в ширине колеи требует:

1. либо построения колеи одинаковой ширины;
2. либо изменения расстояния между колесами каждой колесной пары тележек вагонов.

В осуществлении первого варианта в 2008 году был представлен проект грузового коридора национальными

железнодорожными компаниями Австрии, России, Словакии и Украины, целью которого являлось создание прямого железнодорожного сообщения между Европой и Азией путем продления существующей линии с колеей 1520 мм от Кошице (Словакия) до Вены [4]. Но для этого необходимы огромные капиталовложения и большое количество времени, плюс на переделываемых путях придется останавливать движение, а это большие убытки для железной дороги и неудобства для пассажиров. Общая рецессия экономики стран, которые являются участниками проекта широкой колеи, не позволяет в ближайшее время приступить к его реализации.

Второй путь может быть реализован разными вариантами [5]:

1. Можно проложить совмещенный, с третьим рельсом, путь – это дешево и сравнительно просто в плане технического исполнения. Но на практике его реализовать не удастся – слишком сложные развязки на станциях и разъездах.
2. Пересадка пассажиров и перегрузка грузов в новый состав. Этот вариант создает много неудобств, как при пересадке пассажиров, так и при перегрузке грузов, а также требует много времени.
3. Применение колесных пар с автоматической регулировкой расстояния между колесами. Есть несколько альтернативных вариантов решения, но каждый из них обладает своими недостатками, поэтому до сих пор нет оптимального варианта.
4. Замена тележек или колесных пар на имеющемся составе. Происходит это так: состав заходит на участок, на котором проложены две колеи (шириной 1520 и 1435), затем вагоны поднимают и из-под них выкатывают одни тележки, а на их место закатывают другие. Весь процесс занимает от 3 до 8 часов.

На сегодняшний день (да и на ближайшее будущее) четвертый вариант является основным.

Для поднятия вагонов при замене колесных тележек применяют подъемные комплексы, состоящие из винтовых домкратов, работа которых строго синхронизирована. Для поднятия одного вагона требуется 4 домкрата. Конструкции этих домкратов аналогичны домкратам, применяемым в депо при подъеме транспортных средств для выполнения различных работ: технического обслуживания, ремонта и т.д. На рисунке 1 представлено несколько таких домкратов разных производителей.

Массовость подъёмов и опусканий на станциях перехода наталкивает на мысль проанализировать эту конструкцию домкрата с

точки зрения энергопотребления. Особенно это стало актуальным в настоящее время – время энергетического голодания.

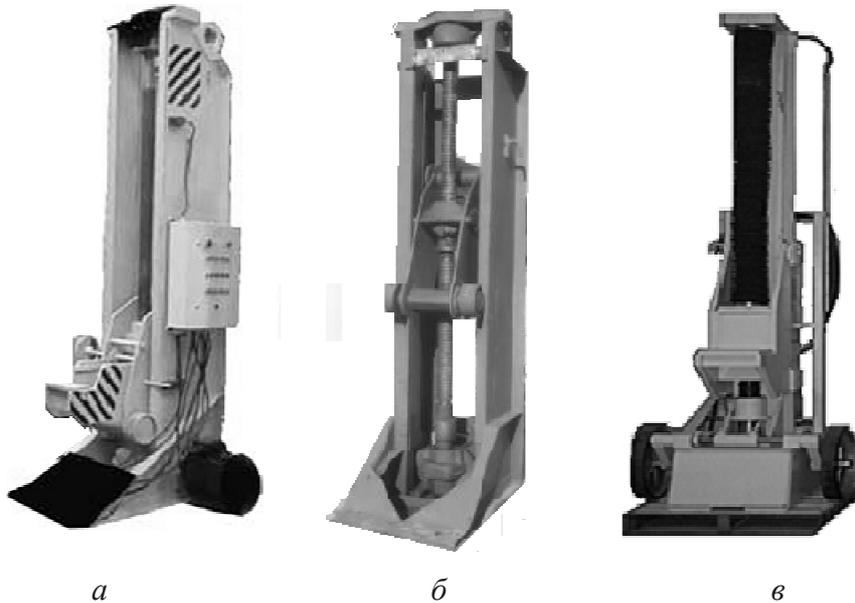


Рисунок 1 – Винтовые домкраты различных производителей:  
а) ПАО Одесский машиностроительный завод «Красная гвардия» (Украина); б) Кубаньжелдормаш (Россия); в) Whiting corporation, Monee (Illinois, USA).

Анализ конструкций домкратов различных фирм (рис.1) показал, что в них установлены винтовые кинематические пары трения скольжения. Например, на рис. 2 представлена винтовая пара трения скольжения, установленная в домкратах фирмы Whiting Corporation.

Все домкраты выполнены по одной и той же кинематической схеме (рис. 3). Винт 2 с прямоугольной резьбой верхним концом опирается на плавающий шариковый сферический подшипник 1, который допускает небольшие угловые отклонения оси винта от вертикали в процессе подъема транспортного средства. Сопряженная с винтом бронзовая гайка установлена в подвижную каретку 4. Нижний конец винта получает вращательное движение от глобоидного червячного редуктора 5, червяк которого через муфту 6 соединен с валом электродвигателя 7. С подвижной кареткой 4 подвижно соединяется выдвижная опора 3, которая подводится под место опирания поднимаемого транспортного средства. Это перемещение установочное и в горизонтальной плоскости осуществляется при помощи зубчатоременной передачи вручную, а в вертикальной плоскости до контакта с вагоном при помощи электродвигателя 7. Так как установочное движение, происходит при отсутствии нагрузки  $F$ , то при этом идет незначительное потребление электроэнергии.

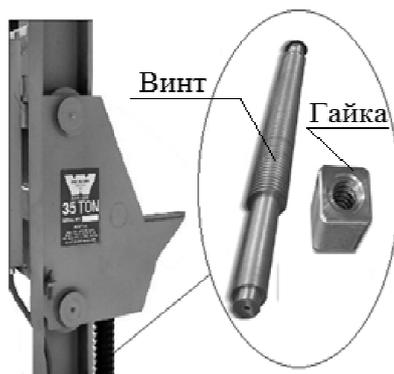


Рисунок 2 – Винтовая кинематическая пара трения скольжения.

Проанализировав кинематическую схему, приходим к выводу, что потери электроэнергии будут в следующих местах: в верхнем подшипнике; в винтовой кинематической паре; в зонах контакта роликов каретки с направляющими; в соединении винта с глобоидным редуктором; в самом редукторе и в муфте, соединяющей двигатель с редуктором. Как известно, КПД последовательного ряда устройств всегда будет меньше наименьшего КПД устройства, входящего в этот ряд [6]. В этой кинематической цепи устройствами, имеющими низкий КПД, являются винтовая кинематическая пара трения скольжения и червячный редуктор.

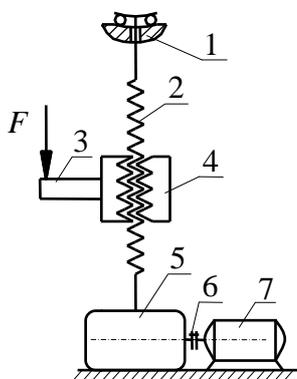


Рисунок 3 – Кинематическая схема домкрата ДТ-40.

В настоящее время для подъёма одного вагона устанавливают 4 домкрата типа ДТ-40.

В домкрате тепловозном ДТ-40 (грузоподъемность 40 т), выпускаемом ПАО Одесский машиностроительный завод «Красная гвардия» [7], установлены:

- глобоидный редуктор РГСЛ-160-50 с КПД  $\eta_p = 0,75$ ;
- винтовая кинематическая пара трения скольжения (винт и бронзовая гайка с прямоугольной резьбой Пр 110×14, у которой средний диаметр  $d_2 = 104$  мм, внутренний диаметр  $d_1 = 96$  мм и шаг  $p = 14$  мм);
- электродвигатель привода механизма подъема 4АМУ160S8У2 с номинальной мощностью  $P_{дв} = 7,5$  кВт при частоте вращения  $n_{дв} = 750$  мин<sup>-1</sup>.

Некоторые технические характеристики этого домкрата представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики домкрата ДТ-40.

Грузоподъемность домкратной стойки	40 т
Минимальная высота положения выдвигной опоры $h_{min}$	880 мм
Максимальная высота положения выдвигной опоры $h_{max}$	2600 мм

Масса загруженного вагона составляет ~100 т, при этом в вагоне будет ~ 80 т груза. При грузопотоке  $39,4 \times 10^6$  т за 10 месяцев мы получим  $39,4 \times 10^6 / 10 \times 12 / 80 = 591000$  вагонов, которое нужно будет пропустить через станции перехода в течение года. Таким образом, масса, которую необходимо будет поднять-опустить в течение одного года, составит  $591000 \times 100 = 591 \times 10^5$  т =  $591 \times 10^8$  кг.

Частота вращения винта  $n_v = n_{дв} / i_p = 750 / 50 = 15$  мин<sup>-1</sup>. Один оборот осуществляется за  $t = 60 / n_v = 60 / 15 = 4$  с. За один оборот винта груз переместится на шаг  $p = 14$  мм. Таким образом, скорость перемещения каретки домкрата (вагона при его подъеме-опускании) составит

$$V = p/t = 14/4 = 3,5 \text{ мм/с} = 0,0035 \text{ м/с.}$$

Полезная мощность, затрачиваемая на подъем (опускание) груза со скоростью  $V = 0,0035$  м/с,

$$P = F \cdot V = 591 \times 10^8 \times 9,8 \times 0,0035 = 2027130000 \text{ (Вт)} = 2027130 \text{ кВт.}$$

Угол подъема витка винтовой кинематической пары [6]:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{p}{\pi \cdot d_2}\right) = \arctg\left(\frac{14}{\pi \cdot 104}\right) = 2,453^\circ.$$

Коэффициент полезного действия винтовой кинематической пары трения скольжения:

$$\eta^{в,ск} = \frac{tg \varphi}{tg (\varphi + \rho)} = \frac{tg 2,453^\circ}{tg (2,453 + 6)^\circ} = 0,2882,$$

где:  $\rho = 6^\circ$  - угол трения в резьбе винтовой пары, у которой винт стальной, а гайка из безоловянистой бронзы.

Требуемая мощность на входе привода, с учетом потерь только в винтовой паре с трением скольжения и глобоидном редукторе составит

$$P_{вх}^{ск} = \frac{P}{\eta_{в}^{ск} \cdot \eta_p} = \frac{2027130}{0,2882 \cdot 0,75} = 9378348 \text{ кВт.}$$

Полное перемещение каретки с нижнего положения в верхнее составляет 1720 мм. Если учесть, что установочное перемещение каретки не превышает 200 мм, то подъём (опускание) вагона осуществляется за время  $(1720 - 200)/3,5 = 434 \text{ с} = 7,24 \text{ мин.}$

Учитывая, что подъём + опускание происходят в течение

$$7,24 \cdot 2 = 14,48 \text{ мин} = 0,24 \text{ ч,}$$

то в течение года будет затрачено

$$9378348 \cdot 0,24 = 2250804 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Из них непосредственно на подъём и опускание необходимо только

$$2027130 \cdot 0,24 = 486511 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Таким образом, потери электроэнергии составят

$$2250804 - 486511 = 1764293 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Итак, элементом, обладающим самым низким КПД в кинематической цепи домкрата, является винтовая кинематическая пара. Если перейти на применение в домкратах роликовых винтовых кинематических пар с трением качения, то можно повысить их КПД.

Так, например, для домкрата ДТ40 с грузоподъемностью 400 кН подходит роликовая винтовая пара SRC 75×15 (табл.2) [8], выпускаемая международной промышленной корпорацией *SKF Group*, являющейся лидером в производстве такой продукции и принадлежащей *SKF Sweden AB*, основанной в 1907 г.

Теоретический КПД этой роликовой винтовой пары [8]

$$\eta_{т}^{в,р} = \frac{1}{1 + \frac{\pi \cdot d_0}{P_h} \mu} = \frac{1}{1 + \frac{\pi \cdot 75}{15} \cdot 0,01} = 0,864,$$

где  $\mu$  коэффициент трения (для винтов с углом подъёма резьбы  $\varnothing < 7^\circ$   $\mu = 0,010$ ).

Практический КПД [8]

$$\eta_{\text{п}}^{\text{в,р}} = 0,9\eta = 0,9 \cdot 0,864 = 0,778.$$

Таблица 2 – Некоторые технические параметры роликовой винтовой пары SCR 75×15

№	Параметр	Обозначение	Величина
1	Номинальный диаметр резьбы, мм	$d_0$	75
2	Ход винта, мм	$P_h$	15
3	Осевая динамическая грузоподъёмность, кН	$C_a$	458,9
4	Наружный диаметр винта, мм	$d_1$	76,2
5	Внутренний диаметр винта, мм	$d_2$	73,1
6	Количество заходов (роликов),	$N$	5
7	Угол подъёма винтовой линии, °	$\varphi$	3,64°

При применении в домкрате роликовой винтовой пары требуемая мощность на входе привода домкрата, с учетом потерь только в роликовой винтовой паре и глобоидном редукторе составит

$$P_{\text{вх}}^{\text{в,р}} = \frac{P}{\eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{р}}} = \frac{2027130}{0,778 \cdot 0,75} = 3474087 \text{ кВт.}$$

В течение года будет затрачено  $3474087 \cdot 0,24 = 833780$  кВт·ч, а потери составят  $833780 - 486511 = 347269$  кВт·ч.

Таким образом, экономия электроэнергии за год составит

$$1764293 - 347269 = 1417024 \text{ кВт·ч,}$$

что в денежном эквиваленте, при сегодняшнем тарифе на электроэнергию 1,23350 грн/кВт·ч, составит 1747900 грн.

**Вывод.**

Переоборудование винтовых домкратов типа ДТ-40, ДТ-30 и др., установленных только на станциях перехода по границам с европейскими странами (а такие домкраты установлены ещё и во многих вагонных депо), на роликовые винтовые пары значительно уменьшит ежегодное потребление электроэнергии «Укрзалізницею», что даст ежегодную экономию более одного миллиона семьсот тысяч грн.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Оновлення Енергетичної стратегії України на період до 2030 р., 7 червня 2012 р., м. Київ. Проект документу для громадських обговорень. Доступно на сайті:  
<http://mre.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=222032>.
2. Транзит без границ. Доступно на сайті:  
<http://www.railworld.com.ua/component/content/article/8>.
3. УНІАН ТРАНСПОРТ. 18-25 ноября 2013 года, пятница, 17.30 №41 (366). Доступно на сайті:  
<http://www.unian.net/news/products/tmp/115978.doc>.
4. “Строительство широкой колеи от Украины в Австрию”. Доступно на сайті: <http://24daily.net/?p=2003>.
5. Святослав Рыбников. Своя колея. Доступно на сайті:  
<http://metrobuildivec.livejournal.com/15152.html>.
6. Заблонський К.І. Деталі машин. «АстроПринт», 1999, с. 404.
7. Домкрат тепловозный ДТ- 40 (ТУ У 29.2-00165698-020:2006). Доступно на сайті: <http://kgomz.all.biz>.
8. Каталог фирмы SKF Group «Roller screws», Доступно на сайті: [www.linearmotion.skf.com](http://www.linearmotion.skf.com).