



Анализ надежности буксовых подшипниковых узлов грузовых вагонов



Игорь МАРТЫНОВ
Igor E. MARTYNOV

Алёна ТРУФАНОВА
Aliona V. TRUFANOVA



Вадим ШОВКУН
Vadim A. SHOVKUN

*Мартынов Игорь Эрнстович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вагоны» Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, Харьков, Украина.
Труфанова Алёна Владимировна – кандидат технических наук, доцент УкрГУЖТ, Харьков, Украина.
Шовкун Вадим Александрович – аспирант УкрГУЖТ, Харьков, Украина.*

Analysis of Reliability of Axle Box Bearing Units of Freight Cars

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 230)

Авторами представлен анализ надежности буксовых узлов. Приведенные данные характеризуют ее уровень в отношении общего парка грузовых вагонов. Приведена оценка параметров потока отказов из-за повреждения роликовых букс в вагонах общего парка в сравнении с парком крытых универсальных вагонов. Ставится вопрос о причинах отказов и возможности иметь математическую модель, способную помочь в определении меры надежности буксовых узлов.

Ключевые слова: железная дорога, вагон, буксовый узел, роликовая букса, надежность, отказ, анализ причин, статистические зависимости.

Находясь в сложных эксплуатационных и погодных условиях, буксовый узел должен сохранять работоспособность независимо от внешних факторов. Буксы воспринимают и передают колёсным парам напряжения гружёного кузова, а также динамические нагрузки, возникающие при движении вагона по кривым участкам, стрелочным переводам, неровностям пути и стыкам рельсов. Каждая, подчас незначительная, их неисправность может привести к отказу техники и угрожает безопасности перевозки пассажиров или грузов.

Эти риски подтверждает анализ распределения причин, вызвавших транспортные происшествия, отнесенные по вагонным хозяйствам, за период 1995-2012 годов. Очевидно, что именно отказы буксовых узлов привели в большинстве своем к критическим рабочим ситуациям.

По данным Украинской железной дороги (УЗ), количество отцепок вагонов из-за чрезмерного нагрева роликовых букс, который был обнаружен дистанционными приборами контроля, колеблется в широких

Основные причины чрезмерного нагрева буксовых узлов

Причины отцепок	Процент от числа отцепок
	2009-2012 гг.
Неисправности сепаратора	2,44
Неисправности торцевого крепления	24,39
Срабатывания типа «ёлочка»	13,41
Проворот внутреннего кольца	4,88
Полное разрушение подшипника	4,88
Загрязнение или обводнение смазки	15,85
Трещины и сколы колец	6,10
Раковины на поверхности качения колец	4,88
Другие причины (человеческий фактор)	23,17
Всего:	100,0

пределах: от 352 случаев в 1995 году до 33 – в 2012-м. Но к этому количеству следует добавить случаи выявления повышенного нагрева роликовых подшипниковых узлов по внешним признакам осмотрщиками вагонов. В 2011 году с такими дефектами зарегистрировано 1122 вагона, спустя год – 1437 вагонов.

В таблице 1 приведены основные причины нагрева буксового узла и отцепления вагонов от поезда.

Факты свидетельствуют, что наиболее опасным с точки зрения обеспечения безопасности движения является повреждение торцевого крепления (почти 25% от общего количества отцепок).

Причины возникновения отказов торцевого крепления достаточно полно изложены в научной литературе [1-3]. Проанализируем схему нагрузки буксовых цилиндрических подшипников.

На буксовые подшипники во время движения действуют радиальные и осевые силы Q . Характер действия осевых сил значительно разнообразнее. Так, при прохождении вагоном кривых участков пути осевые силы будут постоянными. В то же время боковые колебания вагона вызывают кратковременные осевые нагрузки. А при прохождении боковых горизонтальных неровностей пути осевые силы приобретают ударный характер.

Осевая сила способна достигать высоких значений, особенно в грузовых вагонах [4]. Она может действовать как в сторону галтели, так и в сторону торца шейки оси. Причиной является наличие в конструкции грузовых тележек только центрального рессорного подвешивания. В результате

на корпус буксы непосредственно опирается боковая рама тележки, которая имеет большую массу и ускорение, возникающие при прохождении боковых неровностей пути.

Передача осевого усилия осуществляется через ролики только одного из подшипников в зависимости от направления действия. Непосредственное давление на торцевое крепление приводит к его ослаблению, а иногда при воздействии больших динамических сил и накоплении дефектов в металле – к разрушению.

Действие осевых сил приводит к перекоосу роликов, в результате чего создаются кососимметрические нагрузки в сепараторе. В сочетании с высокими динамическими усилиями (особенно в зимний период) это приводит к появлению трещин от усталости в углах окон сепараторов с последующим их разрушением.

При движении вагона осевые силы передаются торцами роликов в режиме скольжения «сталь по стали» направляющим буртам колец. За счет такого режима трения между буртом и торцами роликов происходит интенсивное выделение тепла и разрыв масляной пленки между поверхностями. Вследствие сухого трения существенно снижается выходная прочность металла буртов. Это приводит к микросхватыванию металла в зоне контакта и вызывает повреждение типа «ёлочка» на роликах и буртах колец подшипников. В дальнейшем наличие подобного срабатывания способствует появлению трещин, сколов или даже полному разрушению буртов.

Кроме этого, наблюдается повышенное сопротивление подшипников вращению,



Причины отказов роликовых букс, обнаруженные по внешним признакам

Причины отцепок	Процент от числа отцепок
	2009-2012 гг.
Отказы торцевого крепления	12,53
Отказ сепаратора	18,65
Задиры типа «ёлочка»	8,91
Разрушение подшипника	0,42
Проворот внутреннего кольца	3,69
Трещины колец	3,69
Раковины на поверхности колец ролика	2,78
Электроожог	0,21
Наличие воды	15,31
Неисправности лабиринтного кольца	1,04
Человеческий фактор	15,87
Причины не установлены	9,05
Другие	7,86
Всего:	100,0

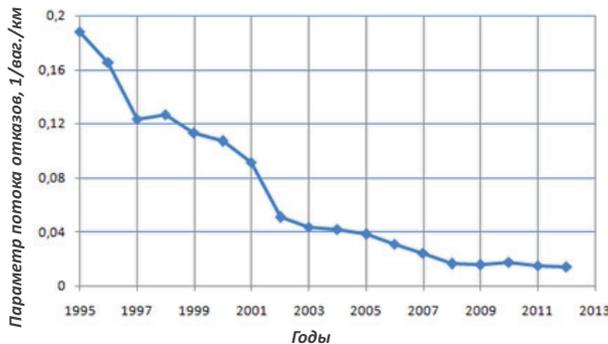


Рис. 1. Зависимость изменения параметра потока отказов грузовых вагонов из-за нагрева буксовых узлов.



Рис. 2. Значение параметра потока отказов грузовых вагонов общего парка по повреждениям буксовых узлов в сравнении с парком крытых универсальных вагонов (2012 г.).

что сопровождается местным нагревом в зоне контакта. Это ускоряет процесс старения масла и приводит к его загрязнению продуктами износа.

Перекося роликов создается дополнительная концентрация напряжений в зоне контакта ролика с дорожками качения колец и тем самым ведет к интенсивному образованию раковин.

Есть основание считать, что значительная часть неисправностей, которые обнаруживаются при плановых осмотрах, а также большинство аварийных отказов

являются следствием недостаточно обоснованной конструктивной схемы буксового узла, где осевая нагрузка передается через торцы роликов в режиме трения скольжения.

В то же время немалое количество отцепок вызвано фактом появления случаев нагрева букс при характерном срабатывании торцов роликов типа «ёлочка».

В таблице 2 приведены причины отказов роликовых букс, что были обнаружены по внешним признакам осмотрщиками вагонов.

Подтверждено, что на первых местах находятся отказы торцевого крепления и сепаратора. Но к ним добавляются отказы, вызванные действием так называемого «человеческого фактора», поскольку именно ошибки обслуживающего персонала привели к появлению дефектов.

В результате обработки статистических данных об отцеплении вагонов в пути следования, предоставленных Главным управлением вагонного хозяйства УЗ, получена зависимость, характеризующая изменение количества отцепок по установленной причине в период 1995–2012 годов.

Если начинать отсчет с 1995 года, то соответствующая зависимость будет иметь такой вид

$$\Delta(t) = 0,005t^4 - 45,41t^3 - 13646t^2 + 2 \cdot 10^8 t + 9 \cdot 10^{10}, \quad (1)$$

где t – годы, отсчитываемые от 1995-го.

Степень согласованности полученной теоретической зависимости по экспериментальным данным проверялась с помощью коэффициента корреляции R , который определялся по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [y_i - f_i(t)]^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}, \quad (2)$$

где y_i – эмпирические данные;

$f_i(t)$ – данные, полученные расчетным способом;

n – число пар данных.

На рис. 1 приведена зависимость изменения параметра потока отказов грузовых вагонов из-за отказа букс (в расчете на 1 млн ваг./км), поскольку именно этот показатель позволяет обобщить изменения, которые произошли за фиксируемое время на железнодорожном транспорте: уменьшение рабочего парка вагонов, колебания грузооборота, исключение вагонов из инвентарного списка и т.п.

Соответствующая зависимость параметра потока отказов грузовых вагонов через нагрев буксового узла имеет такой вид:

$$\omega(t) = 0,000003t^3 - 0,019t^2 + 37,88t - 24338, \quad (3)$$

где ω – параметр потока отказов, t – годы.

Приведенные данные характеризуют уровень надежности буксовых узлов в отношении общего парка грузовых вагонов. Хотя здесь следует иметь в виду, что в последние годы произошла реструктуризация парка, в результате которой подавляющее большинство вагонов было распределено между определенными операторами, ставшими не только их собственниками, но и ответственными за поддержание вагонов в надлежащем техническом состоянии. Разные собственники – естественно, и разная ответственность. И дифференцировать на этом фоне зависимости причин отказов теперь уже труднее.

На рис. 2 представлены параметры потока отказов из-за повреждения роликовых букс для общего вагонного парка в сравнении с парком крытых универсальных вагонов в 2012 году. Здесь сама ситуация однозначна: в универсальных крытых вагонах параметр потока отказов в 1,4 раза меньше, то есть их буксы имеют больший уровень надежности. Но для нахождения причин этого необходимо проанализировать техническое состояние элементов буксовых узлов колесных пар таких вагонов, разработать математическую модель, которая позволит определять показатели надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мотовилов К. В. К вопросу оценки надежности торцевого крепления буксовых узлов колесных пар грузовых вагонов. – М., 1989. – 7 с.
2. Поляков А. И., Цюренко В. Н., Донский В. И. Пути повышения надежности работы торцевого крепления буксовых подшипников // Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения. Труды ВНИИЖТ. Вып. 654. – М.: Транспорт, 1982. – С. 70–82.
3. Мартинов І. Е. До питання оцінки показників надійності торцевого кріплення букс вантажних вагонів // Харківська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. – Харків, 2001. – Вип. 46. – С. 76–79.
4. Варфоломеев В. А., Мотовилов К. В., Мартынов И. Э. и др. Исследование осевых сил, действующих на буксовые узлы грузовых вагонов. – М., 1990. – 13 с.

Координаты авторов: Мартынов И. Э. – martinov.hiit@rambler.ru, Труфанова А. В. – alena.hiit@rambler.ru, Шовкун В. А. – vadim_shovkun@mail.ru.
Статья поступила в редакцию 26.09.2014, принята к публикации 17.02.2015.

Статья подготовлена на основе материалов, представленных авторами на Международной научно-практической конференции «Конструкция, динамика и прочность подвижного состава», посвященной 75-летию со дня рождения В. Д. Хусидова (МИИТ, 20-21 марта 2014 года).





ANALYSIS OF RELIABILITY OF AXLE BOX BEARING UNITS OF FREIGHT CARS

Martynov, Igor E., Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkov, Ukraine.
Trufanova, Alyona V., Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkov, Ukraine.
Shovkun, Vadim A., Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkov, Ukraine.

ABSTRACT

The authors present an analysis of reliability of axle boxes. Provided data characterize its level in relation to the total freight car fleet. The estimation of parameters of failure flow due to damage to roller

axle boxes in cars of total fleet compared with universal covered car fleet is given. The question arises on causes of failures and possibility of having a mathematical model that could help in determining the reliability degree of axle boxes.

Keywords: railway, car, axle box, roller axle bearing, reliability, failure, analysis of causes, statistical dependence.

Background. Being in complex operational and weather conditions, axle box should continue to operate regardless of external factors. Axle bearings perceive and transmit to wheel sets strain of a laden body and dynamic stresses resulting from car's movement on curved sections, track switches, track irregularities and rail joints. Each, sometimes insignificant, malfunction could result in a technical failure and threatens transportation safety of passengers or goods.

Objective. The objective of the authors is to investigate axle box bearings of freight cars during their operation.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, calculation, evaluation approach, comparative method.

Results. These risks are confirmed by the analysis of distribution of accidents' causes classified by car economy for the period 1995-2012. It is obvious that failures of axle boxes led mostly to critical work situations.

According to the Ukrainian Railways (hereinafter - UR), the number of cars' uncoupling due to excessive heating of roller axle bearings, which was discovered by remote control devices, varies widely: from 352 cases in 1995 to 33 – in 2012. However, it is necessary to add to this amount cases of high heating of roller bearing assemblies detected by car inspectors with the help of external signs. In 2011, such defects were registered on 1122 cars, a year later – on 1437 cars.

Table 1 shows main causes of heating of axle box and car's uncoupling of a train.

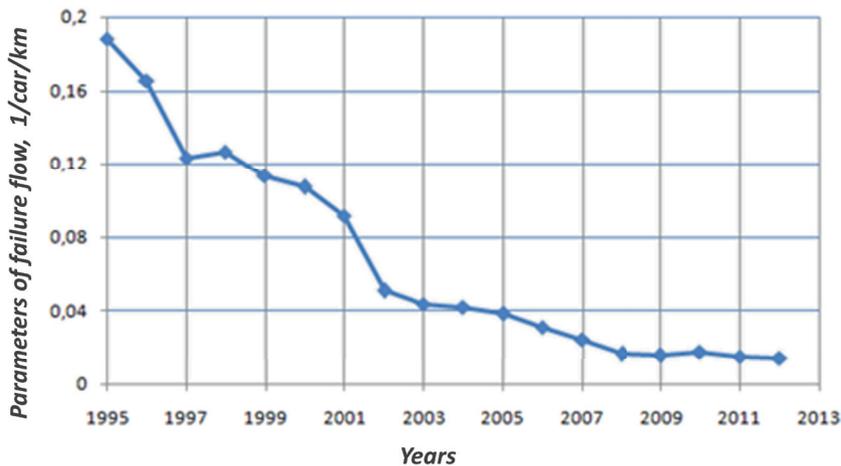
Evidence suggests that the most dangerous in terms of traffic safety is damage to the frontal fastening (almost 25% of the total number of uncoupling).

The causes of frontal fastening's failure are adequately described in the scientific literature [1-3]. Let's analyze the load circuit of axle cylindrical bearings.

Radial and axial forces Q affect axle bearings while moving. Nature of axial forces action is much more diverse. Thus, when passing curved sections of the track, axial forces will be permanent. At the same time, lateral oscillations of the car cause transient axial loads. And when passing lateral horizontal irregularities, axial forces acquire the character of a shock.

The axial force is able to reach high values, particularly in freight cars [4]. It can act towards a fillet, as well as towards a butt end of an axle neck. The reason is the presence of only central spring suspension in the structure of cargo bogies. As a result, a side bogie frame, which has a large mass and acceleration resulting from the passage of track irregularities, rests on the axle bearing body.

Transferring axial force is performed through rollers of only one of bearings depending on the direction of action. Direct pressure on the frontal fastening causes it to weaken and sometimes under the influence of large dynamic forces and accumulation of defects in the metal – to destruction.



Pic. 1. The dependence of change in the parameter of freight cars' failure flow due to the heating of axle boxes.

Table 1

The main causes of excessive heating of axle boxes

Causes of uncoupling	Percent of the number of uncouplings
	2009-2012
Faults of separator	2,44
Faults of frontal fastening	24,39
Actuation of «herringbone» type	13,41
Turn of inner ring	4,88
Complete destruction of bearing	4,88
Pollution or flooding of lubrication	15,85
Cracks and chips of rings	6,10
Blow holes on the rolling surface of rings	4,88
Other causes (human factor)	23,17
Total:	100,0

Table 2

Causes of failures of roller axle bearings, detected by external features

Causes of uncouplings	Percent of the number of uncouplings
	2009-2012
Faults of frontal fastening	12,53
Faults of separator	18,65
Scores «herringbone» type	8,91
Destruction of bearing	0,42
Turn of inner ring	3,69
Cracks of rings	3,69
Blow holes on the surface of roller's rings	2,78
Electric burn	0,21
Availability of water	15,31
Faults of labyrinth ring	1,04
Human factor	15,87
Causes not determined	9,05
Other	7,86
Total:	100,0

The action of axial forces leads to a skewing of rollers, thereby creating antisymmetric loads in the separator. When combined with high dynamic efforts (especially in winter), this leads to the appearance of fatigue cracks in the corners of separators' windows with their subsequent destruction.

When a car moves, axial forces are transmitted to butt ends of rollers in a sliding mode «steel on steel» to directional clamps of rings. Through this friction mode between clamp and butt ends of rollers intense heat evolution and disruption of oil film between surfaces occur. Due to the dry friction output strength of clamps' metal reduces significantly. This leads to microseizure of metal in the contact zone and causes damage of «herringbone» type to rollers and clamps of bearing rings. In the future, the presence of this actuation contributes to the appearance of cracks, chips or even completes destruction of clamps.

In addition, there is an increased resistance of bearings to rotation, which is accompanied by local heating in the contact zone. This speeds up the aging process of oil and causes its contamination with wear product.

Skewing of rollers creates additional stress concentration in the contact area of rollers with raceways of rings and thereby leads to intensive formation of blow holes.

There is a reason to assume that a significant proportion of faults that are detected during a scheduled inspection, as well as most emergency failures result from insufficiently substantiated constructive scheme of axle box, where the axial load is transmitted through butt ends of rollers in the sliding friction mode.

At the same time a considerable number of uncouplings is caused by the fact of appearance of heating of axle bearings at characteristic actuation of butt ends of rollers «herringbone» type.

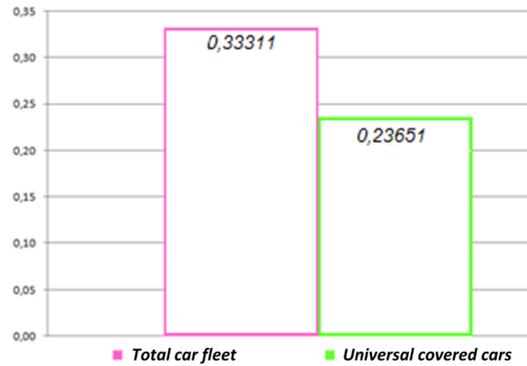
Table 2 shows causes of failures of roller axle bearing that have been detected by car inspectors on external signs.

It is confirmed that at the first places there are failures of frontal fastening and separator. But they are followed by failures caused by the action of so-called «human factor», because mistakes of maintenance staff led to defects.

As a result of the processing of statistical data on uncoupling of cars en route, provided by the General Directorate of car economy of UR, the dependence that characterizes the change in the number of uncoupling on determined cause during 1995-2012 period, was obtained.

If we start counting from 1995, the corresponding dependence will have this form





Pic. 2. The value of freight cars' failure flow of total fleet by damage to axle boxes in comparison with universal covered car fleet (2012).

$$\Delta(t) = 0,005t^4 - 45,41t^3 - 13646t^2 + 2 \cdot 10^8 t + 9 \cdot 10^{10} \quad (1)$$

where t is years, counted from 1995.

The consistency degree of obtained theoretical dependence on experimental data was tested by means of correlation coefficient R , which is defined as:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [y_i - f_i(t)]^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2} \quad (2)$$

where y_i is empirical data;

$f(t)$ is data obtained by calculation;

n is a number of data pairs.

Pic. 1 shows the change in the parameter of freight cars' failure flow due to failure of axle bearings (per 1 million car / km) because this measure enables us to generalize the changes that have occurred over fixed time on railway transport: reduction of working fleet of cars, fluctuations in freight turnover, exclusion of cars from the inventory, etc.

The corresponding dependence of parameter of freight cars' failure flow through the heating of axle box has a form:

$$\omega(t) = 0,000003t^3 - 0,019t^2 + 37,88t - 24338, \quad (3)$$

where ω is failure flow parameter, t is years.

These data indicate the reliability level of axle boxes for the total fleet of freight cars. Although here it should be borne in mind that in recent years there was a restructuring of the fleet, which resulted in the fact that vast majority of cars were distributed among certain operators, which became not only their owners, but also persons responsible for the maintenance of cars in good technical condition. There are different owners and, of course, different responsibilities. And

it is more difficult now to differentiate causes of failures against this background.

Pic. 2 shows the parameters of failure flow due to damage of roller axle bearings for the total car fleet in comparison with universal covered car fleet in 2012.

Conclusions. Here the situation is very clear: in universal covered cars failure flow parameter is 1,4 times less, that is, their axle bearings have a greater level of reliability. But to find reasons for this, it is necessary to analyze the technical condition of elements of wheel sets' axle boxes of these cars, to develop a mathematical model that will determine reliability indicators.

REFERENCES

1. Motovilov, K. V. On the reliability assessment question of frontal fastening of axle boxes of freight cars' wheel sets [K voprosu ocenki nadezhnosti torcevoogo krepnenija buksovyh uzlov kolesnyh par gruzovyh vagonov]. Moscow, 1989, 7 p.
2. Polyakov, A.I., Tsyurenko, V.N., Donsky, V.I. Ways to improve reliability of frontal fastening of axle bearings [Puti povysheniya nadezhnosti raboty torcevoogo krepnenija buksovyh podshipnikov]. Ways to improve structures of axle boxes of cars with anti-friction bearings. Proceedings of VNIIZhT, Iss. 654, 1982, pp.70-82.
3. Martinov, I. E. On the question of reliability evaluation indices of frontal fastening of freight cars' axle boxes [Do pitannya ocinki pokaznikov nadezhnosti torcevoogo krepnenija bukso vantazhnyh vagoniv]. Kharkiv State Academy of Railway Transport. Collection of scientific works, 2001, Iss. 46, pp. 76-79.
4. Varfolomeev, V.A., Motovilov, K. V., Martynov, I.E. et al. Study of axial forces acting on axle boxes of freight cars [Issledovanie osevyh sil, dejstvuyushchih na buksove uzly gruzovyh vagonov]. Moscow, 1990, 13 p.

Information about the authors:

Martynov, Igor E. – D. Sc. (Eng.), professor, head of the department of Cars of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkov, Ukraine, martinov.hiit@rambler.ru.

Trufanova, Alyona V. – Ph.D. (Eng.), associate professor of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkov, Ukraine, alena.hiit@rambler.ru.

Shovkun, Vadim A. – Ph.D. student of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkov, Ukraine, vadim_shovkun@mail.ru.

Article received 26.09.2014, accepted 17.02.2015.

The article is based on the papers, presented by the authors at the International scientific and practical conference «Rolling stock's Design, Dynamics and Strength», dedicated to the 75th anniversary of V. D. Husidov, held in MIIT University (March, 20-21, 2014).

T

РАНЖИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ 234

Мотивы профессиональной самореализации.



ЭКСПРЕСС- ИНФОРМАЦИЯ 245

*Популярность профессий.
Что показал опрос.*

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ РЕСУРС 248

Как разорвать «круг Кналла».



RANKING OF THE NEEDS 234

Growth of professional self-value prevails among other motivators.

EXPRESS NEWS 245

Attractiveness of employments as shown by surveys.



HUMAN RESOURCES 248

How to exit from Knall circle.

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ • HRM, EDUCATION & TRAINING

