

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-4-84-89

УДК 621.311:621.316

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ПОД НАГРУЗКОЙ НА УРОВЕНЬ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ  
В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ****EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE ON-LOAD TAP-CHANGING  
DEVICE ON THE LEVEL OF ACTIVE POWER LOSSES  
IN POWER TRANSFORMERS**

**Непша Федор Сергеевич,**  
старший преподаватель, e-mail: nepshafs@gmail.com  
**Nepsha Fedor S.,** Senior lecturer  
**Ефременко Владимир Михайлович,**  
кандидат техн. наук, профессор, e-mail: evm-47@mail.ru  
**Efremenko Vladimir M.,** C. Sc. (Engineering), Professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, ul. Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian  
Federation

***Аннотация.** В распределительных сетях 6-35 кВ часто приходится сталкиваться с проблемой регулирования напряжения в условиях изменения электрических нагрузок. Для поддержания напряжения на шинах 6- 35 кВ в подобных условиях используются устройства регулирования под нагрузкой (УРПН). Однако в процессе расчета и оптимизации электрических режимов распределительных сетей по критерию минимума потерь (потребления) активной мощности не учитываются изменения уровня потерь активной мощности в трансформаторе при переключении анцапф УРПН, что может отразиться на качестве результатов оптимизации. В связи с этим, анализ изменения уровня потерь активной мощности в трансформаторе при переключении анцапф УРПН является актуальной научно-технической задачей. В данной статье представлены результаты анализа изменения уровня потерь активной мощности в трансформаторе в зависимости от положения УРПН и коэффициента загрузки трансформатора. Авторами получены графические зависимости изменения потерь активной мощности в трансформаторе при изменении напряжения в пределах зоны нечувствительности устройства автоматического регулирования напряжения трансформатора (АРНТ). На основании проведенного анализа установлены наиболее оптимальные положения УРПН при разных коэффициентах загрузки трансформатора, а также сделаны выводы о необходимости учета переключений УРПН в процессе оптимизации уровня напряжения в сети по критерию минимума потерь (потребления) активной мощности.*

***Abstract.** In distribution networks of 6-35 kV, one often has to deal with the problem of voltage regulation under conditions of changing electrical loads. To maintain the voltage on the 6-35 kV busbars in similar conditions, the on-load tap-changing devices are used. However, in the process of calculating and optimizing the electric modes of distribution networks, the changes in the level of active power loss in the transformer during tap changing on the on-load tap-changing device are not taken into account by the criterion of minimum losses (consumption) of active power, which may affect the quality of the optimization results. In this regard, the analysis of the change in the level of active power loss in the transformer during tap changing of the on-load tap-changing device is an actual scientific and technical task. In this paper, the authors present the results of an analysis of the change in the level of active power losses in the transformer depending on the position of the on-load tap-changing device and the load factor of the transformer. The authors obtained graphical dependences of the change in the losses of active power in the transformer with a change in the voltage within the dead zone of the automatic voltage regulating control relays. On the basis of the analysis, the most optimal positions of the on-load tap-changing device with different load factors of the transformer were established, and conclusions were drawn about the need to take into account the switching of the on-load tap-changing device in the process of optimization of the voltage level in the network by the criterion of minimum losses (consumption) of active power.*

***Ключевые слова:** регулирование напряжения, регулирование под нагрузкой, потери активной мощности, оптимизация уровня напряжения.*

**Keywords:** voltage regulation, power transformer on-load tap-changing devices, active power losses, voltage level optimization.

Известно, что при переключении УРПН происходит изменение числа витков в обмотке высшего напряжения, а также меняется магнитный поток [1,2]. Наиболее распространенная схема соединений УРПН с диапазоном регулирования  $\pm 9 \times 1,78\%$  приведена на рис. 1.

В положении реверсора «+» регулировочная обмотка включается согласно с основной обмоткой трансформатора, при этом происходит увеличение магнитного потока и коэффициента трансформации. Также увеличивается активное и индуктивное сопротивление трансформатора. При переключении реверсора в положение «-» регулировочная обмотка включается встречно основной, при этом происходит уменьшение магнитного потока и коэффициента трансформации, а также увеличение активного сопротивления и уменьшение индуктивного сопротивления.

Параметры схемы замещения силовых трансформаторов с УРПН могут быть определены по паспортным данным, а также по каталожным данным.

В большинстве случаев, параметры схемы замещения силового трансформатора (рис.2) определяются по формулам [3]:

$$R_T = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_{ном}^2}{S_{НОМ}^2 \cdot 10^3}, \quad (1)$$

$$Z_T = \frac{u_{\kappa \% отн} U_{отн}^2}{100 \cdot S_{НОМ}}, \quad (2)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_{\kappa}$  – потери короткого замыкания (кВт),  $U_{ном}$  – линейное номинальное напряжение обмотки (кВ),  $U_{отн}$  – напряжение на стороне ВН соответствующее  $n$ -ому ответвлению (кВ),  $S_{НОМ}$  – номинальная мощность трансформатора (МВА),  $u_{\kappa \% отн}$  – напряжение короткого замыкания соответствующей отпайки УРПН, %.

При определении параметров схемы замещения по формулам (1-3) не учитывается зависимость активного сопротивления от числа витков регулировочной обмотки в процессе переключения УРПН. Реальные зависимости активных сопротивлений обмоток от номера анцапфы (ответвления) по паспортным данным трансформаторов типа ТДН-16000/35, ТРДН-25000/110 и ТРДН-40000/110  $R_{насч} = f(n)$  представлены на рис. 3.

В результате аппроксимации вышеуказанных зависимостей  $R_{насч} = f(n)$  полиномом 2-й степени в

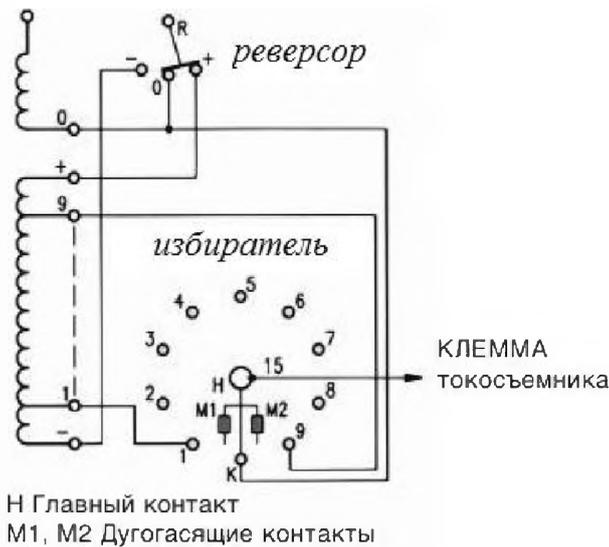


Рис. 1. Схема соединения УРПН  
 Fig. 1. Connection scheme of the on-load tap-changer

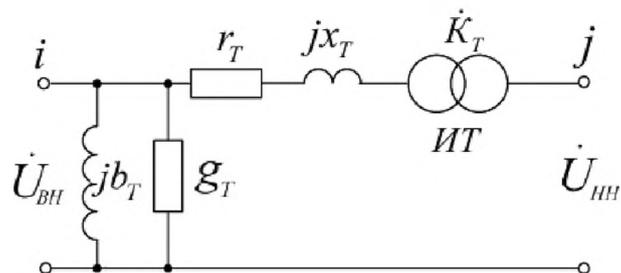


Рис. 2. Схема замещения двухобмоточного трансформатора  
 Fig. 2. Double-winding transformer equivalent circuit

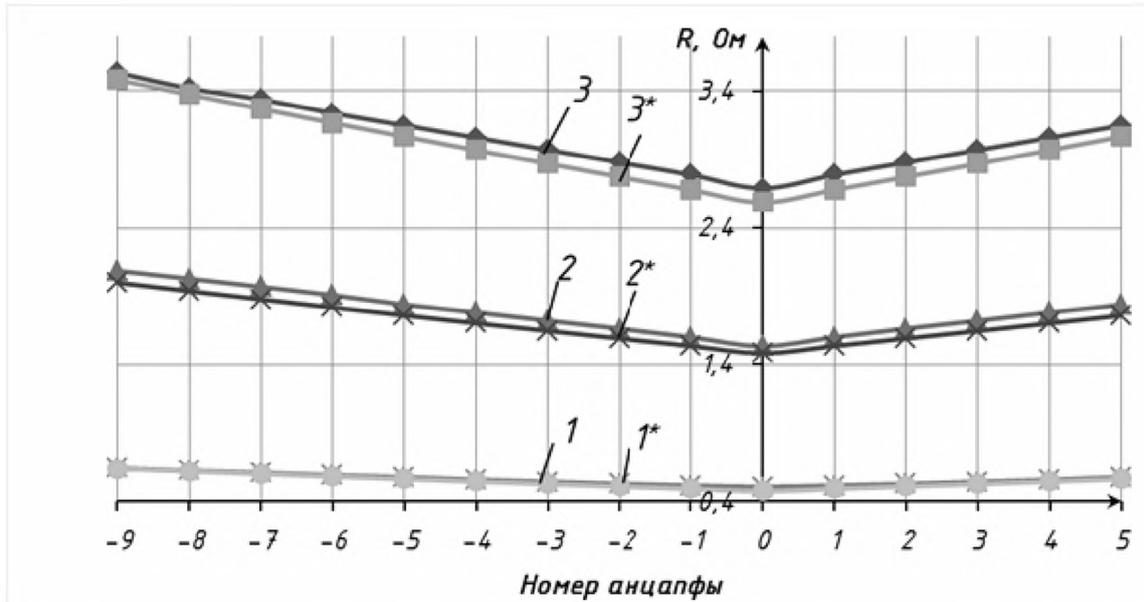


Рис. 3. Зависимости  $R_{расч}=f(n)$  (1 – для ТДН-16000/35, 2 – для ТРДН-25000/110, 3 – для ТРДН-40000/110) и  $R_{расч}=f(n)$  (1\* – для ТДН-16000/35, 2\* – для ТРДН-25000/110, 3\* – для ТРДН-40000/110)  
Fig. 3. Dependencies  $R_{расч}=f(n)$  (1 – for TDN-16000/35, 2 – for TRDN-25000/110, 3 – for TRDN-40000/110) and  $R_{расч}=f(n)$  (1\* – for TDN-16000/35, 2\* – for TRDN-25000/110, 3\* – for TRDN-40000/110)

среде MATLAB авторами были получены следующие регрессионные функции:

– для трансформатора марки ТДН-16000/35

$$R_T(n_m) = 0,0004 \cdot n_m^2 + 0,012 \cdot n_m + 0,5047, \quad (4)$$

– для трансформатора марки ТРДН-25000/110,

$$R_T(n_m) = 0,0003 \cdot n_m^2 + 0,0893 \cdot n_m + 2,6968, \quad (5)$$

– для трансформатора марки ТРДН-40000/110

$$R_T(n_m) = 0,00008 \cdot n_m^2 + 0,0616 \cdot n_m + 1,5384, \quad (6)$$

Коэффициент детерминации  $R^2$  полученных функций равен единице, следовательно, полученные регрессионные зависимости (4-6) обладают сильной корреляцией с наблюдаемыми данными и полностью им соответствуют [4].

Однако практически, при отсутствии информации об активных сопротивлениях обмотки на каждой анцапфе УРПН, допустимо пользоваться формулой:

$$R = \frac{\Delta P_k (U_{ном} (1 + |n \cdot \Delta U_{ст*}|))^2}{S_{НОМ}^2 \cdot 10^3}, \quad (7)$$

где  $n$  – номер анцапфы УРПН, изменяющийся в пределах  $[-9, 9]$ ,  $\Delta U_{ст*}$  – шаг регулирования УРПН, %.

При этом полученные авторами значения коэффициентов детерминации ( $R^2$ ) и средних ошибок аппроксимации ( $\bar{A}$ ) составляют: ТРДН-25000/110 ( $R^2=0,896$ ;  $\bar{A}=2,73\%$ ), ТРДН-40000/110 ( $R^2=0,799$ ;  $\bar{A}=4,26\%$ ), ТДН-16000/35 ( $R^2=0,86$ ;  $\bar{A}=2,62\%$ ). Это свидетельствует о сильной корреляции паспортных данных трансформатора с функцией (7). Зависимости  $R_{расч}=f(n)$ , полученные по формуле (7), для трансформаторов марки ТРДН-25000/110, ТРДН-40000/110, ТДН-

16000/35 представлены на рис. 3.

Положения УРПН «1-5» могут не рассматриваться т.к. соответствуют напряжениям выше наибольшего для электрооборудования согласно п.3.4 [5].

Силовые трансформаторы оказывают влияние на уровень потребляемой активной мощности, которое заключается в изменении уровня потерь активной мощности в трансформаторе. На уровень потерь активной мощности в трансформаторе влияет коэффициент загрузки трансформатора, номер анцапфы УРПН, уровень напряжения в питающей сети.

Уровень потерь активной мощности в трансформаторе с учетом (7) можно оценить по формуле [6]:

$$\Delta P_m(n) = \frac{(k_z \cdot S_{ном})^2}{(U_{ном} (1 + n \cdot \Delta U_{ст*}))^2} + \Delta P_{xx} \cdot \left( \frac{U}{U_{ном}} \right)^2, \quad (8)$$

Формулу (8) целесообразно рассмотреть при увеличении и уменьшении коэффициента трансформации относительно номинального.

Важно отметить, что при работе устройства АРНТ в режиме стабилизации, номер анцапфы УРПН подстраивается под напряжение питающей сети.

Таким образом, при увеличении напряжения происходит переключении анцапфы УРПН и увеличении сопротивления трансформатора.

При увеличении коэффициента трансформации (переключение анцапф в «+») уровень потерь

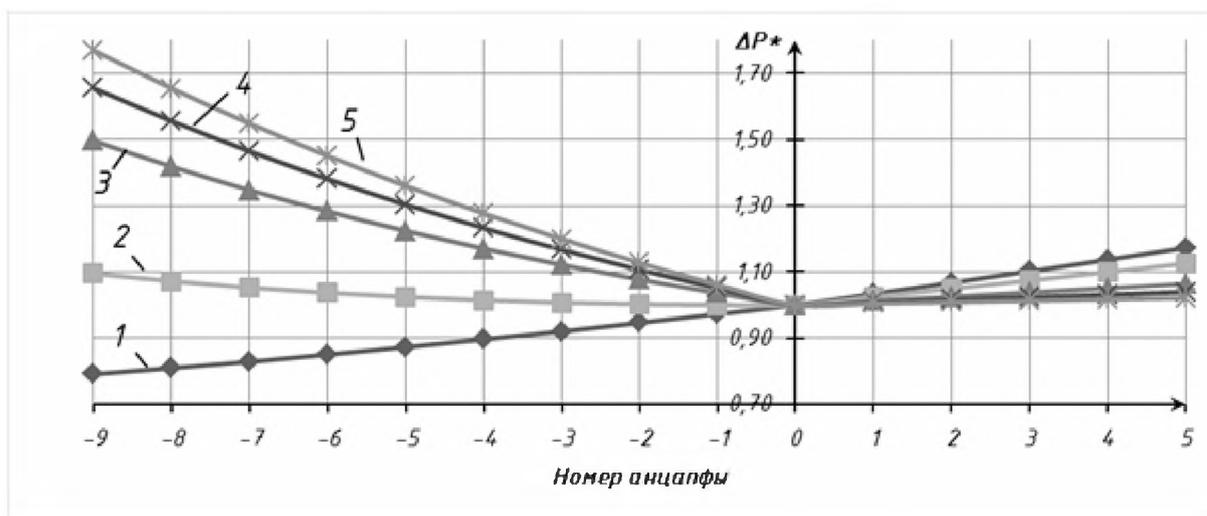


Рис. 4. Графики зависимостей  $\Delta P^*=f(n)$  при различных коэффициентах загрузки трансформатора (1 – при  $k_3=0,1$ ; 2 – при  $k_3=k_{ззр}$ ; 3 – при  $k_3=0,5$ ; 4 – при  $k_3=0,7$ ; 5 – при  $k_3=1$ )  
 Fig. 4. Dependencies  $\Delta P^*=f(n)$  at different load factors of the transformer (1 – for  $k_3=0,1$ ; 2 – for  $k_3=k_{ззр}$ ; 3 – for  $k_3=0,5$ ; 4 – for  $k_3=0,7$ ; 5 – for  $k_3=1$ )

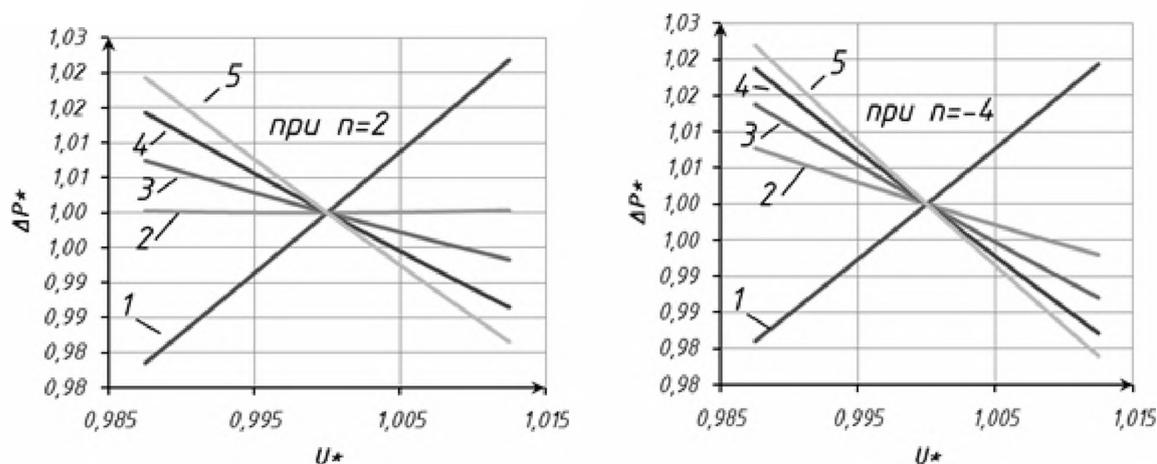


Рис. 5. Изменение потерь активной мощности в трансформаторе при разных положениях УРПН и колебаниях напряжения в пределах зоны НЧ ( $U_{нч}=2,5\%$ ) и разных коэффициентах загрузки (1 – при  $k_3=0,1$ ; 2 – при  $k_3=k_{ззр}$  для  $n=2$ ; 3 – при  $k_3=0,5$ ; 4 – при  $k_3=0,7$ ; 5 – при  $k_3=1$ )  
 Fig. 5. Change of active power losses in the transformer at different positions of the power transformer on-load tap-changing device and voltage fluctuations within the dead zone ( $U_{нч}=2,5\%$ ) and different load factors (1 – for  $k_3=0,1$ ; 2 – for  $k_3=k_{ззр}$  at  $n=2$ ; 3 – for  $k_3=0,5$ ; 4 – for  $k_3=0,7$ ; 5 – for  $k_3=1$ )

активной мощности в трансформаторе определяется по формуле:

$$\Delta P_m(n) = k_3^2 \Delta P_k + \Delta P_{xx} \cdot \left( \frac{U}{U_{ном}} \right)^2, \quad (9)$$

Формула (9) показывает, что при повышении напряжения в питающей сети и регулировании напряжения устройством АРНТ в режиме «стабилизации» происходит увеличение уровня потерь активной мощности в трансформаторе за счет роста потерь холостого хода. При этом уровень нагрузочных потерь остается неизменным.

В условиях понижения напряжения в питающей сети и переключении анцапф в отрицательные положения, потери активной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta P_m(n) = \frac{k_3^2 \Delta P_k (U_{ном} (1 + |n \cdot \Delta U_{ст*}|))^2}{(U_{ном} (1 + n \cdot \Delta U_{ст*}))^2} + \Delta P_{xx} \cdot \left( \frac{U}{U_{ном}} \right)^2, \quad (10)$$

Формула (10) показывает, что при понижении напряжения питающей сети и переключении анцапф в отрицательные положения происходит значительное увеличение потерь, связанное с увеличением токовой нагрузки и увеличением сопротивления трансформатора.

Графики зависимостей  $\Delta P^*=f(n)$  в относительных единицах при переключении устройства РПН устройством АРНТ в режиме «стабилизации» и различных коэффициентах загрузки трансформатора представлены на рис. 4.

Значение граничного коэффициента загрузки  $k_{зпр}$ , при загрузке ниже которого, минимум потерь активной мощности в трансформаторе не соответствует нейтральному положению анцапфы, может быть определен по формуле:

$$k_{зпр} = \sqrt{\frac{\Delta P_{xx} \left( (1 - \Delta U_{ст*})^2 - 1 \right)}{\Delta P_{\kappa} \left[ 1 - \frac{(1 + \Delta U_{ст*})^2}{(1 - \Delta U_{ст*})^2} \right]}}, \quad (11)$$

Формула (11) получена из условия равенства потерь активной мощности в нейтральном положении анцапфы УРПН и в положении анцапфы «-1».

Надо отметить, что зависимости, представленные на рис.4, справедливы в том случае, если напряжение в сети соответствует напряжению анцапф УРПН. При колебаниях напряжения в пределах одной отпайки УРПН, когда отклонения напряжения находятся в зоне нечувствительности (зона НЧ) устройства АРНТ ( $U_{нч} = 1,2-1,5 \Delta U_{ст*}$ ), потери активной мощности изменяются в соответствии с графиками, представленными на рис. 5.

Зависимости, представленные на рис. 4-5 позволяют сделать следующие выводы:

1. При  $k_3 > k_{зпр}$  минимальный уровень потерь активной мощности в трансформаторе соответствует нейтральному положению анцапфы УРПН. Значение  $K_{зпр}$  определяется соотношением потерь холостого хода и нагрузочных потерь.

2. При  $k_3 < k_{зпр}$  потери активной мощности главным образом определяются потерями холостого хода. В связи с этим, минимум  $\Delta P$  не наблюдается в нейтральном положении. Минимум функции  $\Delta P^* = f(n)$  смещается в отрицательном направлении.

3. При уменьшении коэффициента трансформации (переключение УРПН в «-»), потери активной мощности увеличиваются пропорционально квадрату коэффициента загрузки трансформатора, положению анцапфы УРПН и обратно

пропорционально квадрату уровня напряжения на вводах трансформатора. При этом, с увеличением  $k_3$  потери активной мощности увеличиваются значительно.

4. При увеличении коэффициента трансформации (переключение УРПН в «+»), нагрузочные потери трансформатора остаются практически неизменными, но увеличиваются потери холостого хода. Прирост потерь активной мощности более значителен по мере уменьшения  $k_3$ .

5. При изменении напряжения в пределах зоны нечувствительности устройства АРНТ, характер зависимости  $\Delta P^* = f(U)$  зависит от коэффициента загрузки трансформатора. При этом, если  $k_3 > k_{зпр}$  потери активной мощности уменьшаются при увеличении напряжения. Если  $k_3 < k_{зпр}$  потери активной мощности увеличиваются при увеличении напряжения в пределах зоны НЧ.  $k_{зпр}$  определяется соотношением потерь холостого хода и нагрузочных потерь, а также текущим положением УРПН.

6. Диапазон изменения потерь активной мощности в трансформаторе в различных положениях УРПН зависит от коэффициента загрузки трансформатора.

Таким образом, как показал анализ, изменение потерь активной мощности в силовых трансформаторах носит неоднозначный характер при работе УРПН на разных ответвлениях. Характер изменения потерь активной мощности определяется коэффициентом загрузки, шириной зоны НЧ, направлением переключения отпайки УРПН относительно нейтрального положения, соотношением потерь холостого хода и нагрузочных потерь. В связи с этим, необходимо учитывать изменение потерь активной мощности в трансформаторе в процессе переключения УРПН, при выполнении оптимизации уровня напряжения по критерию минимума потерь (потребления) активной мощности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 24126-80 (СТ СЭВ 634-88) Устройства регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой. Общие технические условия (с изменениями № 1, 2) – Введ. 1982-01 -01. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 36 с.
2. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии / Герасименко А.А., Федин В.Т. — Изд. 4-е. — М.: КНОРУС, 2014. — 648 с. — (Бакалавриат).
3. Идельчик, В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем / В.И. Идельчик. - М.: Энергоатомиздат, 1988
4. Харченко М.А. Корреляционный анализ: Учебное пособие для вузов. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. - 31 с.
5. ГОСТ 29322-2014 (IEC 60038:2009). Напряжения стандартные. – Введ. 2015-10 -01. – М.: Стандартиформ, 2015. – 13 с.
6. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 280 с.: ил.

## REFERENCES

1. GOST 24126-80 (ST SEV 634-88) Ustroystva regulirovaniya napryazheniya silovykh transformatorov pod nagruzkoy. Obshchie tekhnicheskie usloviya (s izmeneniyami № 1, 2) [Power transformer on-load tap-changing devices. General specifications]. Introduced 01.01.1982. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1988. 36 p.
2. Gerasimenko A.A., Fedin V.T. Peredacha i raspredelenie elektricheskoy energii [Transmission and distribution of electrical energy]. Izd. 4-e. Moscow: KNORUS, 2014. 648 p.
3. Idel'chik, V.I. Raschety i optimizatsiya rezhimov elektricheskikh setey i sistem [Calculations and optimization of modes of electrical networks and systems]. Moscow: Energoatomizdat, 1988. 286 p.
4. Kharchenko M.A. Korrelyatsionnyy analiz: Uchebnoe posobie dlya vuzov. [Correlation Analysis: a textbook for Universities]. Voronezh: Izd-vo VGU, 2008. 31 p.
5. GOST 29322-2014 (IEC 60038:2009). Standard voltages. Moscow: Standartinform, 2015. 22 p.
6. Zhelezko Yu.S., Artem'ev A.V., Savchenko O.V. Raschet, analiz i normirovanie poter' elektroenergii v elektricheskikh setyakh: Rukovodstvo dlya prakticheskikh raschetov [Calculation, analysis and normalization of electricity losses in electrical networks: A guide for practical calculations]. Moscow: Izd-vo NTs ENAS, 2004. 280 p.

*Поступило в редакцию 29 мая 2017*  
*Received 29 May 2017*

ISSN 1999-4125

# ВЕСТНИК

КУЗБАССКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



---

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

4-17



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева»

# ВЕСТНИК

КУЗБАССКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№4 (122) 2017

Основан в 1997 году  
Выходит 6 раз в год  
ISBN 5-89070-074-X

## Редакционная коллегия:

Кречетов А.А., гл. редактор, к.т.н. (РФ)  
Костюк С.Г., зам. гл. ред., к.т.н. (РФ)  
Блюменштейн В. Ю., д.т.н. (РФ)  
Демирель Нурей, к.т.н. (Турция)  
Исмагилов З. Р., член-корреспондент РАН, д.т.н. (РФ)  
Каширских В. Г., д.т.н. (РФ)  
Клишин В. И., член-корреспондент РАН, д.т.н. (РФ)  
Клубович В. В., академик НАН Беларуси, д.т.н. (Беларусь)  
Колесников В. Ф., д.т.н. (РФ)  
Конторович А. Э., академик РАН, д.т.н. (РФ)  
Коротков А. Н., д.т.н. (РФ)  
Кузиев Д.А., к.т.н. (РФ)  
Мальшев Ю. Н., академик РАН, д.т.н. (РФ)  
Маметьев Л. Е., д.т.н. (РФ)  
Мисников О.С., д.т.н. (РФ)  
Першин В. В., д.т.н. (РФ)  
Петрик П. Т., д.т.н. (РФ)  
Ренев А. А., д.т.н. (РФ)  
Серони Аньона, к.т.н. (Кения)  
Смирнов А. Н., д.т.н. (РФ)  
Фёт Штефан, д.т.н. (Германия)  
Хямяляйнен В. А., д.т.н. (РФ)  
Цзяо Ви-го, д.т.н. (Китай)  
Черкасова Т. Г., д.т.н. (РФ)  
Чехлар Михал, к.т.н. (Республика Словакия)  
Юй Шен-вэнь, д.т.н. (Китай)  
Яночко Юрай, к.т.н. (Республика Словакия)

Полнотекстовой доступ к электронной версии журнала  
на сайте [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

Подписной индекс П4471 по электронному каталогу российской прессы  
«Почта России»

Издатель журнала: ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

© Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева. 2017

Уважаемые читатели!

Журнал издается с 1997 г.

Учредителем является Кузбасский  
государственный технический  
университет имени Т.Ф. Горбачева

Журнал зарегистрирован Федеральной  
службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и  
массовых коммуникаций –  
Свидетельство ПИ №77 -060779 от 11  
февраля 2015г.

Входит в Перечень ВАК РФ – ведущих  
рецензируемых научных журналов и  
изданий, в которых должны быть  
опубликованы основные научные  
результаты диссертаций на соискание  
ученых степеней доктора и кандидата  
наук. по направлениям 05.02.00  
Машиностроение и машиноведение,  
05.05.00 Транспортное, горное и  
строительное машиностроение,  
05.09.00 Электротехника, 05.17.00  
Химическая технология, 25.00.00  
Науки о Земле

Ответственный редактор -  
к.ф.-м.н., профессор кафедры  
прикладных информационных  
технологий  
М.А. Тынкевич

Технический редактор  
О.А. Останин

Дизайн обложки  
Ю.Е. Волчков, Д.А. Бородин

Адрес редакции:  
650000, Кемерово, ул. Весенняя 28,  
ФГБОУ ВО «Кузбасский  
государственный технический  
университет имени Т.Ф. Горбачева»

Тел.: +7-3842-39-63-14  
Сайт: [vestnik.kuzstu.ru](http://vestnik.kuzstu.ru)

Подписано к печати 19.07.2017

Формат 60×84 /8.  
Бумага офсетная.  
Отпечатано на МФУ  
Уч.-изд. л. 26,87.  
Тираж 150 экз.

Издательский центр УИП КузГТУ  
650000, Кемерово,  
ул. Д.Бедного, 4а

Russian Federation Ministry of Education and Science  
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
"T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University"

# BULLETIN

OF THE KUZBASS  
STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY



№ 4 (122) 2017

Founded in 1997

Issued 6 times a year

ISBN 5-89070-074-X

## Editorial Team:

Krechetov A. A., editor-in-chief, PhD (Russia)  
Kostyuk S. G., deputy editor-in-chief, PhD (Russia)  
Blumenstein V. Yu., Dr. Sc. (Russia)  
Cehlár Michal, PhD (Slovak Republic)  
Cherkasova T. G., Dr. Sc. (Russia)  
Demirel Nuray, PhD (Turkey)  
Ismaghilov Z. R., corresponding member of RAS, Dr. Sc. (Russia)  
Janocko Juraj, PhD., (Slovak Republic)  
Jiao Wi-guo, Dr. Sc. (PRC)  
Kashirskikh V. G., Dr. Sc. (Russia)  
Khyamyalyaynen V. A., Dr. Sc. (Russia)  
Klishin V. I., corresponding member of RAS, Dr. Sc. (Russia)  
Klubovitch V. V., academician of Belarus NAS, Dr. Sc. (Belarus)  
Kolesnikov V. F., Dr. Sc. (Russia)  
Kontorovitch A. E., academician of RAS, Dr. Sc. (Russia)  
Korotkov A. N., Dr. Sc. (Russia)  
Kuziev D. A., PhD (Russia)  
Malyshev Yu. N., academician of RAS, Dr. Sc. (Russia)  
Mametiev L. E., Dr. Sc. (Russia)  
Misnikov O. S., Dr. Sc. (Russia)  
Pershin V. V., Dr. Sc. (Russia)  
Petrik P. T., Dr. Sc. (Russia)  
Renev A. A., Dr. Sc. (Russia)  
Seroni Anyona, PhD (Kenya)  
Smirnov A. N., Dr. Sc. (Russia)  
Vöth Stefan, Dr.-Ing., (Germany)  
Yu Sheng-Wen, Dr. Sc. (PRC)

Full-text access to the electronic version of the journal is on website  
[www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

Subscription index is P4471 as per the electronic catalog of the Russian press  
"Post of Russia"

Publisher: T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University"

© T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 2017

Dear readers!

The journal is published since 1997.

Founded by T. F. Gorbachev Kuzbass  
State Technical University

The journal is registered by the Federal  
Service for Supervision in the Sphere of  
Communication, Information Technology  
and Mass Communications - Certificate PI  
No. 77 -060779 of February 11, 2015.

It is included in the Russia List of the  
Higher Attestation Commission being the  
list of the leading peer-reviewed scientific  
journals and publications in which the  
main scientific results of theses for the  
academic degrees of a doctor and  
candidate of sciences should be published  
in the following areas 05.02.00  
Mechanical engineering and machine  
sciences, 05.05.00 Transport, mining and  
construction machinery, 05.09.00  
Electrical engineering, 05.17.00 Chemical  
technology, 25.00.00 Earth sciences

Responsible editor -  
M. A. Tynkevich, PhD in Physics and  
Mathematics, Professor, Applied  
Information Technologies  
Department

Technical editor  
O. A. Ostanin

Cover design  
Yu.E. Volchkov, D.A. Borodin

Editorial office address:  
28, Vesennaya str., Kemerovo, 650000  
T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical  
University

Tel.: +7-3842-39-63-14  
Web-site: [vestnik.kuzstu.ru](http://vestnik.kuzstu.ru)

Signed for publication on 19.07.2017

Format 60×84 /8.  
Offset paper.  
Imprinted on MFPs  
Published sheets 26,87.  
Edition 150 copies.

Publishing center UIP KuzSTU  
650000, Kemerovo,  
4a, D. Bednogo str,

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Соколов М.В., Простов С.М.*  
Геомеханическое обоснование параметров инъекционного закрепления аварийного грунтового основания здания
- Голик В.И., Разоренов Ю.И., Дзеранов Б.В.*  
Комбинированная доставка твердеющих смесей на удаленные участки месторождений
- Коларов М.Ф.*  
Построение пространственных изображений трещин при использовании альтернативных методов микросейсмо-мониторинга гидроразрыва пласта
- Козырева Е.Н., Шинкевич М.В.*  
Проветривание и дегазация выемочного участка при интенсивном метановыделении из обрабатываемого пласта и вмещающих пород
- Ремезов А.В., Торро В.О., Кузнецов Е.В., Климов В.В.*  
Анализ проявления опорного давления при нисходящем порядке отработки выемочных столбов по пласту Толмачёвский
- Торро В.О., Ремезов А.В., Кузнецов Е.В., Климов В.В.*  
Анализ инструментальных наблюдений за конвергенциями в конвейерном штреке 18-8 при отработке выемочных столбов по пласту Толмачёвский в восходящем порядке
- Масаев Ю.А., Политов А.П., Масаев В.Ю.*  
Совершенствование технологии возведения бетонных крепей для подземных горных выработок
- Счастливец Е.Л., Юкина Н.Н.*  
Формирование территориальных кластеров на реке Томь по свойствам распространения загрязнений

### ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Герике П.Б.*  
Обоснование комплексного подхода к виброанализу в рамках создания методики испытаний горно-шахтного оборудования

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Неша Ф.С., Ефременко В.М.*  
Оценка влияния работы устройства регулирования под нагрузкой на уровень потерь активной мощности в силовых трансформаторах
- Скребнева Е.В., Пустовой В.А.*  
Выбор автономного источника электроэнергии для промышленных предприятий на примере ООО ПО «Химпром»
- Кубарев В.А., Корнеев В.А., Галлямова О.Р.*  
Модуль управления электроприводом шахтной подъёмной машины в режиме замедления на основе нечеткой логики
- Колмаков Н.М., Баховцев И.А.*  
Коэффициенты гармоник выходных параметров АИН при гитсрезеисном управлении по напряжению
- Малахова Т.Ф., Захаренко С.Г., Захаров С.А., Кудряшов Д.С., Скребнева Е.В., Балаганский А.О.*  
Грозовые явления и защита систем электроснабжения от атмосферных перенапряжений

## CONTENTS

### EARTH SCIENCES

- 5 *Sokolov M.V., Prostov S.M.*  
Geomechanical justification of the parameters for injection consolidation of hazardous ground foundation of a building
- 14 *Golik V.I., Razorenov Yu.I., Dzeranov B.V.*  
Combined delivery of hardening mixtures to remote deposit sites
- 20 *Kolarov M.F.*  
Spatial imaging of fractures when using alternative methods for microseismic monitoring of seam hydraulic fracturing
- 28 *Kozyreva E.N., Shinkevich M.V.*  
Ventilation and degassing in the extraction panel with intensive methane release from the mined seam and enclosing strata
- 37 *Remezov A.V., Torro V.O., Kuznetsov Ye.V., Klimov V.V.*  
The analysis of manifestation of bearing pressure at the descending order of extraction panels mining in seam Tolmachyovsky
- 47 *Remezov A.V., Torro V.O., Kuznetsov Ye.V., Klimov V.V.*  
Analysis of instrumental monitoring of convergences in conveyor roadway 18-8 during mining of extraction panels in seam Tolmachyovsky in the ascending order
- 58 *Masaev Yu.A., Politov A.P., Masaev V.Y.*  
Improving the technology of construction of concrete supports for underground mine workings
- 67 *Schastlivtsev E.L., Yukina N.I.*  
Formation of territorial clusters on the tom river by the properties of pollution spreading

### TRANSPORT, MINING, CONSTRUCTION MECHANICAL ENGINEERING

- 76 *Gericke Pavel B.*  
Substantiation of an integrated approach to vibroanalysis in the framework of creating a test procedure for mining equipment

### ELECTRICAL ENGINEERING

- 84 *Nepsha F.S., Efremenko V.M.*  
Evaluation of the influence of the on-load tap-changing device on the level of active power losses in power transformers
- 90 *Skrebneva E.V., Pustovoy V.A.*  
Selection of an autonomous electric power source for industrial enterprises on an example of ООО ПО "Khimprom"
- 94 *Kubarev V.A., Korneev V.A., Gallyamova O.R.*  
Fuzzy logic based module for mine winder electric drive control in the deceleration state
- 102 *Kolmakov N.M., Bakhovtsev I.A.*  
Total harmonic distortion of VSI with hysteresis voltage control
- 110 *Malakhova T.F., Zakharenko S.G., Zakharov S.A., Kudryashov D.S., Skrebneva E.V., Balaganskij A.O.*  
Lightning storms and protection of power supply systems against atmospheric overvoltage

## **МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

- Герасимов С.П., Дворников Л.Т.* 117  
Кинестатический анализ шестизвенной группы нулевой подвижности. применительно к трехсателлитной планетарной передаче
- Плотвина А.О., Нешев А.В., Черкасова Т.Г.*  
Исследование емкости рынка ТКР в Кузбассе, а также экономический эффект и возможность замещения ремкомплектов для ремонтов турбокомпрессоров спецтехники импортного производства
- Шахматов К.С., Доя Д.В., Басова Г.Г.* 126  
Способ определения вязкости жидкостей малых объемов
- Ермилов Е. А., Ковальский Б.И., Олейник В.З., Батов Н.С.* 130  
Метод контроля термоокислительной стабильности моторных масел

## **ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

- Михайлова Е.С., Хайрулин С.Р., Сальников А.В., Кузнецов В.В., Чичкань А.С., Чесноков В.В., Подьячев О.Ю., Исмагилов З.Р.*  
Разработка и создание установки каталитического синтеза углеродных наноматериалов
- Бунеева Е.И., Трысанов Б.Г.* 147  
Методы определения структуры угля
- Михайлова Е.С., Кузнецов В.В., Подьячева О.Ю., Чичкань А.С., Сальников А.В., Чесноков В.В.* 155  
Установка для подготовки и проведения ИК-спектроскопических исследований углеродных наноматериалов
- Федорова Н.И., Михайлова Е.С., Исмагилов З.Р.* 164  
Физико-химические свойства витринитовых концентратов углей Кузнецкого бассейна
- Козлов А.П., Зыков И.Ю., Дудникова Ю.Н., Федорова Н.И., Исмагилов З.Р.* 170  
Синтез углеродных сорбентов из природноокисленного барзасского угля, импрегнированного гидроксидом калия
- Пучков С.В., Непомнящих Ю.В.* 176  
Оценка энергий разрыва СН-связей 2-бутанола квантово-химическими методами

## **ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

- Решетова Т.А., Стародубов А.Н.* 182  
Разработка подсистемы моделирования проблемно-ориентированного имитатора сетей Петри для проектирования очистных работ на угольных шахтах
- Тупицын А.В.* 189  
Анализ современных подходов к обоснованию проектных решений на основе компьютерного моделирования
- Вниманию авторов* 197

## **MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCES**

- Gerasimov S.P., Dvornikov L.T.* 117  
Kinestatics analysis of a six-membered group of zero mobility in relation to the three satellite planetary gear
- Plotvina A.O., Neshev A.V., Cherkasova T.G.* 121  
Research of market capacity, economic effect and possibility of replacement of repair components for repair of turbochargers on special-purpose vehicles of foreign production
- Shahmatov K.S., Dony D.V., Basova G.G.* 126  
Method for determining the viscosity of small volume fluids
- Ermilov E.A., Kovalsky B.I., Oleinik V.Z., Batov N.S.* 130  
Method for controlling the thermal oxidation stability of motor oils

## **CHEMICAL TECHNOLOGY**

- Mikhailova E.S., Khairulin S.R., Salnikov A.V., Kuznetsov V.V., Chichkan AS., Chesnokov V.V., Podyacheva O.Yu., Ismagilov Z.R.* 135  
Development and construction of the installation for catalytic synthesis of carbon nanomaterials
- Buneeva E.I., Trysanov B.G.* 147  
The methods of coal structure determination
- Mikhailova E.S., Ismagilov Z.R.I., Kuznetsov V.V., Podyacheva O. Yu, Chichkan A.S., Salnikov A.V., Chesnokov V.V.* 155  
Laboratory setup for preparation and conducting ftr experiments on carbon nanomaterials
- Fedorova N.I., Mikhailova E.S., Ismagilov Z.R.* 164  
Physical and chemical properties of the vitrinite concen-trates of of the Kuznetsk basin coals
- Kozlov A.P., Zykov I.Yu., Dudnikova Yu.N., Fedorova N.I., Ismagilov Z.R.* 170  
Synthesis of carbon sorbents from naturally oxidated barzas coal impregnated with potassium hydroxide
- Puchkov S.V., Nepomnyashchikh Yu.V.* 176  
Estimation of CH-bond dissociations energies of 2-butanol by quantum-chemical methods

## **THE HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

- Reshetova T.A., Starodubov A.N.* 182  
Development of the subsystem of simulation of the problem-oriented imitator of the petri nets for designing of coal face mining operations in coal mines
- Tupitsyn A.V.* 189  
Analysis of modern approaches to the justification of design solutions based on computer modeling
- Instructions to authors* 197