

# Вести

№1. 2020

## НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ



ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ISSN 2687-1335

Вести научных достижений.  
Естественные и технические науки

News of scientific achievements.  
Natural and technical sciences

№ 1  
2020

№ 1  
2020

Учредитель:  
Общество с ограниченной  
ответственностью «Офорт»

Publisher:  
Limited liability company  
«Ofort»

Главный редактор - Г.А.Нафикова,  
кандидат юридических наук

Chief editor: G.A.Nafikova  
PhD in law

Редакционный совет:  
Вилданов Р.Р.; Гарифуллин Ф.А.;  
Мирсаяпов И.Т.; Ибрагимов Р.А.;  
Аюпов Д.А.; Сафин А.Р.;  
Мухамеджанов Р.Н.

Editorial board:  
Vildanov R.R.; Garifullin F.A.;  
Mirsayapov I.T.; Ibragimov R.A.;  
Ayupov D.A.; Safin A.R.;  
Mukhamedzhanov R.N.

Корректор – Бикмухаметова А.М.

Proofreader – Bikmukhametova A.M.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информа-  
ционных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации средства массовой информации:  
Эл № ФС77-71649 от 13.11.2017

**Почтовый адрес редакции:**

420097, Республика Татарстан, г.Казань, ул.Академическая д.2, оф.009

e-mail: [vesti.nd@yandex.ru](mailto:vesti.nd@yandex.ru)

[www.vestind.ru](http://www.vestind.ru)

тел./факс: +7 (843) 537-91-63, +7 (843) 537-91-23

За достоверность и точность данных, других материалов, приведенных  
в статье, ответственность несут авторы статей и других материалов.

Точка зрения редакции не всегда совпадает с выраженным мнением авторов.

При копировании текста статей ссылка на журнал обязательна.

# СЛОВО РЕДАКТОРА

## Дорогие читатели!

Исторически сложилось, что технические науки развиваются в тесной взаимосвязи с естественными науками. Первые технические открытия, так или иначе, были связаны с достижениями в сфере естественных наук и основаны на них. Ранняя техническая мысль стимулировала развитие естественных наук. Термодинамика, возникшая в первой половине XIX века, является типичным примером сказанного. Также необходимо учитывать тот факт, что естественные науки не могли и не могут обойтись без постоянно расширяемого техническими науками арсенала технических и экспериментальных средств.

В условиях процессов глобализации, идущих рука об руку с научно-технической революцией, а также с изменениями традиционных связей между естественными и техническими науками, вопросы проблем познания новых связей и открытий приобретают особое значение.

Раньше проблема познания законов была прерогативой фундаментальных наук, а выявление возможностей конструирования артефактов - предметом технических наук. А потому, на страницах нашего журнала, вы проследите эти два ряда исследований в новых научных направлениях в тесной связи.

*Главный редактор,  
кандидат юридических наук, доцент*  
**Гульнара Айдаровна Нафикова**

## СОДЕРЖАНИЕ

СЛОВО РЕДАКТОРА.....	3
----------------------	---

### ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Капустина Г. Г., Римлянд В. И. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРАСНЫЙ ШЛАМ.....	6
Ван Хонг Чу Линлин. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ СМЕШИВАНИЯ НА ДИСПЕРСИОННЫЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАПОЛНИТЕЛЕЙ В SBR / BR.....	10
Ван Хонг Чу Линлин. АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В БУДУЩЕМ.....	20

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Павликов Д. А., Шишин М. С. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ КОРОДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ОТ ВЛАЖНОСТИ.....	30
Шихалиева С. Я. ДВУХРОТОРНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОМОТОР С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ.....	41
Набиуллин Д. И., Целовальникова Д. Л., Вилданов Р. Р. КОСМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИКА.....	46

## CONTENTS

EDITOR'S WORD .....	3
---------------------	---

### NATURAL SCIENCE

Kapustina G. G., Rimland V. I. RESEARCH OF THE INFLUENCE OF CONTINUOUS LASER RADIATION ON RED SLUDGE.....	6
Wang Hong Chu Lingling. EFFECTS OF DIFFERENT MIXING PROCESSES ON THE DISPERSION AND DYNAMIC PROPERTIES OF FILLERS IN SBR / BR.....	10
Wang Hong Chu Lingling. ANALYSIS ON THE DEVELOPMENT DIRECTION OF FUNCTIONALIZED CARBON BLACK IN THE FUTURE.....	20

### TECHNICAL SCIENCE

Pavlikov D. A., Shishin M. S. WAYS TO INCREASE THE ENERGY INTENSITY OF BARK AND WOOD WASTE TAKING INTO ACCOUNT THE DEPENDENCE OF THE HEAT OF COMBUSTION ON HUMIDITY .....	30
Shikhaliyeva S. Y. TWO-ROTOR ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR WITH SPEED CONTROL .....	41
Nabiullin D. I., Tselovalnikova D. L., Vildanov R. R. SPACE-BASED SOLAR POWER.....	46

# ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 616.31-039.57:616.22-008.5

Дата направления в редакцию: 02-03-2020

Дата рецензирования: 03-03-2020

Дата публикации: 20-06-2020

**Капустина Галина Григорьевна**

*Тихоокеанский государственный университет,  
Хабаровск*

*E-mail: g.kapustina@mail.ru*

**Римлянд Владимир Иосифович**

*Доктор технических наук*

*Тихоокеанский государственный университет,  
Хабаровск*

*riml@fizika.khstu.ru*

**Kapustina Galina Grigoryevna**

*Pacific State University,  
Khabarovsk*

*E-mail: g.kapustina@mail.ru*

**Rimland Vladimir Iosifovich**

*Doctor of Technical Sciences*

*Pacific State University,  
Khabarovsk*

*E-mail: riml@fizika.khstu.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРАСНЫЙ ШЛАМ

## RESEARCH OF THE INFLUENCE OF CONTINUOUS LASER RADIATION ON RED SLUDGE

**Аннотация (на рус).** В статье показано, что при взаимодействии лазерного излучения на красный шлам, были обнаружены образования агломерированных кристаллических структур металлов.

**Abstract (in Eng).** The article shows that during the interaction of laser radiation on red sludge, the formation of agglomerated crystalline structures of metals was detected.

**Ключевые слова:** Красный шлам, лазерное излучение, агломерированные кристаллические структуры.

**Keywords:** Red sludge, laser radiation, agglomerated crystalline structures.

Посредством щелочного метода Байера при получении технического оксида алюминия (глинозема) из бокситов получают отходы глиноземного производства – красный шлам. Он складывается на огромных промышленных отстойниках (в данном случае шламовых полях) в окрестностях глиноземных заводов. Содержание красного шлама может варьироваться в зависимости от качества и особенностей технической переработки боксита: 40-55%  $Fe_2O_3$ , 14-18%  $Al_2O_3$ , 5-10%  $CaO$ , 5-10%  $SiO_2$ , 4-6%  $TiO_2$ , 2-4%  $Na_2O$ . Оксид железа придает ему красный оттенок. Опасность, которую несут в себе отходы алюминиевого производства, заключается как в высокой дисперсности, так и в остаточной щелочности. Как следствие, их хранение производится

в шламохранилищах, занимающих обширные площади. Шламу свойственна достаточно сильная щелочная реакция. Именно поэтому в настоящее время решаются вопросы о том, как его можно использовать в качестве сырья и планируется с его помощью модернизировать процесс и технологии утилизации.

Эксперименты были проведены с использованием иттербиевого оптоволоконного источника непрерывного лазерного излучения ( $\lambda=1070$  [нм]) ЛС-06 мощностью 600 [Вт].

Исследуемым образцом был выбран красный шлам с уральских месторождений. 2 группы образца были равномерно распределены по поверхности закрепленной графитовой пластины. После этого с установленной соответствующей мощностью излучения ла-

зера облучили образец. Во время обработки образца графитовая пластина перемещалась со скоростью 1 мм/с.

С мощностью излучения в 60-150 [Вт] смогли получить сферические спеки, размеры которых составляли 1-2 [мм]. С мощности излучения 200-300 [Вт] наблюдали яркое горение, и диаметр спеков увеличился (3 - 3,5 [мм]).

Структура образцов до и после лазерной обработки была исследована с использованием растрового электронного микроскопа LEO EVO 40HV производителя Carl Zeiss (Германия). Локальный химический анализ был проведен на ЭДС INCA ENERGY X-MAX произ-

водителя Oxford (Англия).

Наномасштабность данных о количественном распределении химических элементов в исследуемых образцах была получена благодаря локализации зондирующего электронного пучка с диаметром 20-30 [нм] и с глубиной проникновения 1 [мкм]. Чувствительность была равна 0,1%. Исходя из изображения электронного микроскопа можно сделать вывод, заключающийся в том, что первоначальный и Изображения электронного микроскопа позволяют сделать вывод, что у исходного и облученного образцов разная фазовая микронеоднородность (рис. 1).

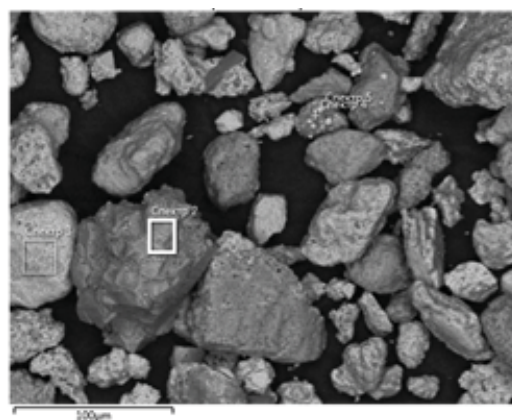
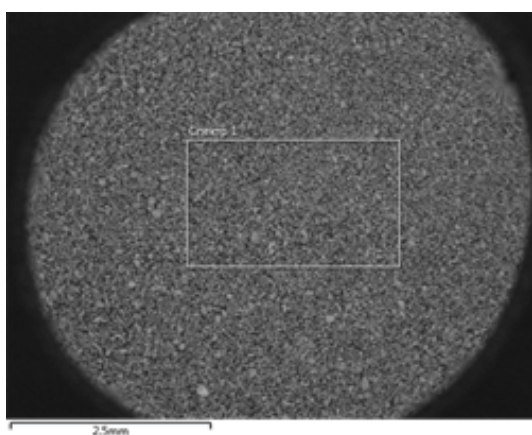


Рис. 1. Исходный образец красного шлама

В ходе исследований фазовой микронеоднородности посредством метода растровой электронной микроскопии было установлено, что в состав исходного образца входят железо, кислород, алюминий, кремний и другие элементы (табл.1).

Табл. 1. Химический состав исходного образца

Элемент	Fe	O	Al	Si	S	Ca	Ti
Вес.%	57.02	31.10	4.41	2.43	1.89	1.84	1.31

Образцы вследствие обработки лазером представляли собой неоднородные спеки. Фазы с более высоким средним атомным числом выражены в более ярком контрасте по сравнению с фазами с меньшим атомным числом, рис. 2.

Получили растровые изображения объектов исследования и определили элементный состав спеков, которые были получены в процессе лазерной обработки 100 – 300 [Вт].

Выявили образование агломерированных кристаллических структур золота (1,2 микро-

на), гафния (5-6 микрон) и других металлов (рис.3, 4) Их наличие не было замечено в исходных образцах.

Результатом лазерного воздействия на красный шлам стала регистрация образования агломерированных кристаллических структур металлов (золота, циркона, гафния и других металлов). Подобные выводы были сделаны в процессе взаимодействия лазерного излучения с магнетитами и высокоглинистыми алюмосиликатными образцами [1-3].

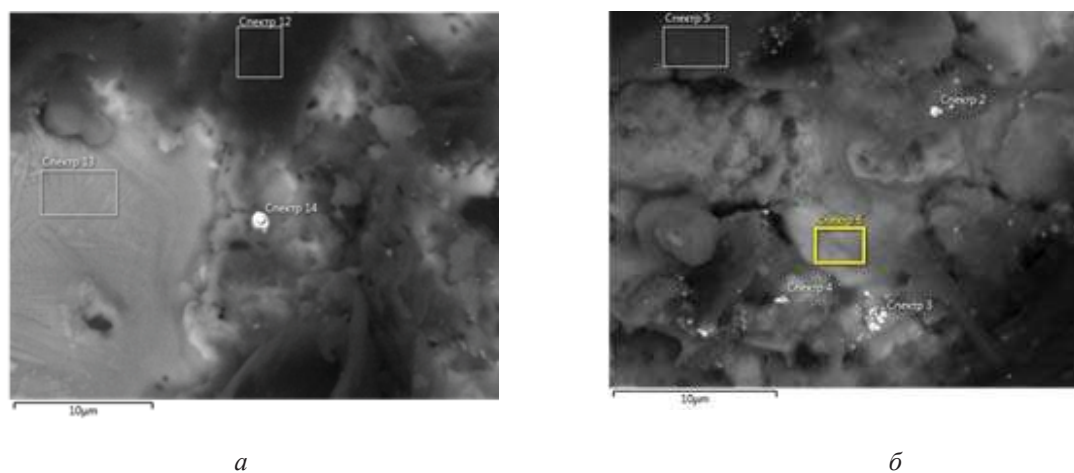


Рис. 2. Образцы красного шлака после лазерного облучения мощностью *a* – 200 Вт, *б* – 300 Вт.

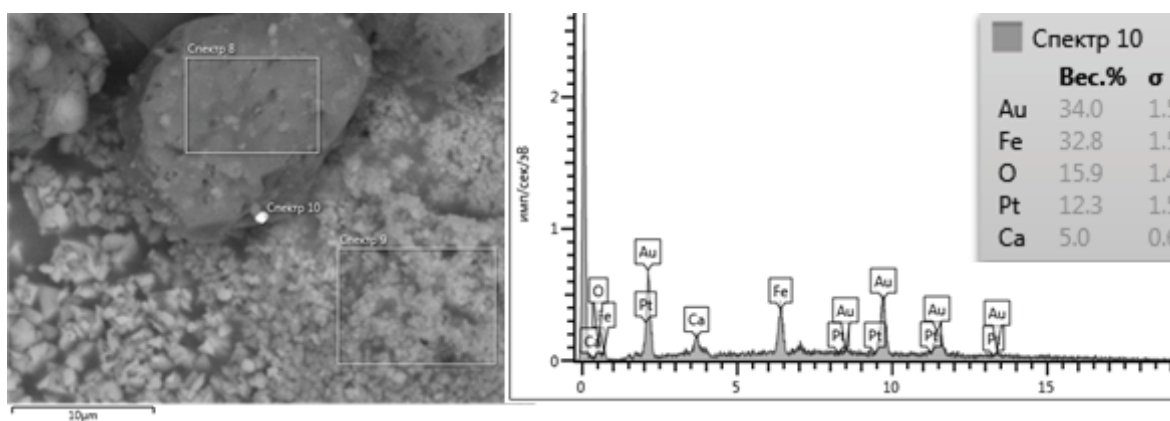


Рис. 3. Спект красного шлака при мощности излучения 100 Вт

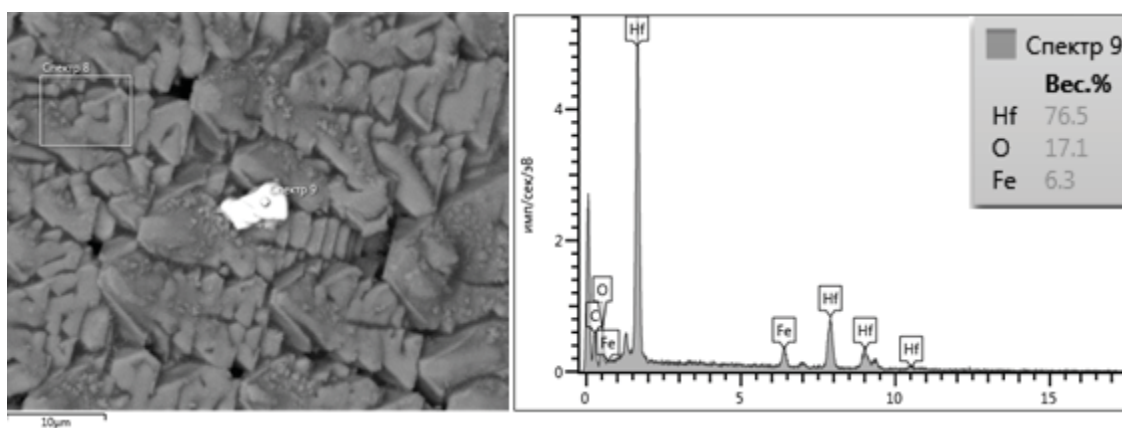


Рис. 4. Спект красного шлака при мощности излучения 200 Вт



## Библиография

1. Капустина, Г.Г. Исследование нелинейных эффектов при взаимодействии лазерного излучения с минеральными средами / Г.Г. Капустина, Н.Л. Швец, Н.А. Леоненко, Е.А. Ванина // Физика: фундаментальные и прикладные исследования, образование: Материалы XII региональной науч. конф., Хабаровск, 28-31 октября 2013 г. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – С. 124-129.
2. Капустина, Г.Г. Исследование нелинейных эффектов при взаимодействии лазерного излучения с горными породами и минеральными средами / Г.Г. Капустина, Н.Л. Швец, Н.А. Леоненко // Вестник Тверского государственного университета. Серия «Физика». – 2013. № 37.– С. 22-30.
3. Леоненко, Н.А. Воздействие лазерного излучения на золотосодержащие дисперсные среды и моделирование температурного поля процесса лазерной агломерации / Н.А. Леоненко, Е.А. Ванина, А. А. Гальцов, Г.Г. Капустина, Н.Л. Швец // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – №5-2 (283). – С. 83-89.test

## References (transliterated)

1. Kapustina, G.G. Issledovanie nelinejnyh effektov pri vzaimodejstvii lazernogo izlucheniya s mineral'nymi sredami / G.G. Kapustina, N.L. Shvec, N.A. Leonenko, E.A. Vanina // Fizika: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya, obrazovanie: Materialy XII regional'noj nauch. konf., Habarovsk, 28-31 oktyabrya 2013 g. – Habarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2013. – S. 124-129.
2. Kapustina, G.G. Issledovanie nelinejnyh effektov pri vzaimodejstvii lazernogo izlucheniya s gornymi porodami i mineral'nymi sredami / G.G. Kapustina, N.L. Shvec, N.A. Leonenko // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Fizika». – 2013. № 37.– S. 22-30.
3. Leonenko, N.A. Vozdejstvie lazernogo izlucheniya na zolotosoderzhashchie dispersnye sredy i modelirovanie temperaturnogo polya processa lazernoj aglomeracii / N.A. Leonenko, E.A. Vanina, A. A. Gal'cov, G.G. Kapustina, N.L. Shvec // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2010. – №5-2 (283). – S. 83-89.test

© Г.Г. Капустина, В.И. Римлянд, 2020



**Ссылка на статью:** Капустина Г.Г., Римлянд В.И. - Исследование воздействия непрерывного лазерного излучения на красный шлам // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №1. – С. 6-9. DOI: 10.36616/2687-1335-2020-1-6-9 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-1/articles?View&page=6>

УДК 678.742

Дата направления в редакцию: 11-03-2020

Дата рецензирования: 12-03-2020

Дата публикации: 20-06-2020

**Ван Хонг Чу Линлин**  
Qingdao Black Cat Carbon  
Black Technology Co., Ltd.,  
Qingdao, Shandong, 266042

**Wang Hong Chu Lingling**  
Qingdao Black Cat Carbon  
Black Technology Co., Ltd.,  
Qingdao, Shandong, 266042

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ СМЕШИВАНИЯ НА ДИСПЕРСИОННЫЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАПОЛНИТЕЛЕЙ В SBR / BR

### EFFECTS OF DIFFERENT MIXING PROCESSES ON THE DISPERSION AND DYNAMIC PROPERTIES OF FILLERS IN SBR / BR

**Аннотация (на рус).** В данной статье изучается влияние наполнителей на механические и динамические свойства каучука SBR / BR при трех различных последовательностях подачи. После инфильтрации предварительно обработанной белой сажи и каучука и добавления сажи агломерация наполнителя уменьшается, дисперсия белой сажи в каучуке улучшается, и полученная смесь каучука имеет самое высокое содержание связанной резины и лучшие механические свойства и износостойкость. Изменяя параметры процесса, такие как температура и скорость перемешивания, обнаруживается, что механические свойства, такие как прочность на разрыв, увеличиваются с увеличением температуры с той же скоростью; при той же температуре, с увеличением скорости, измеритель дисперсности и сканирующее электронная микроскопия показывают, что дисперсионные свойства технического углерода лучше, механические свойства каучука повышаются, температура сжатия повышается и потери на истирание Акрона уменьшаются, и содержание связанной резины и модуль хранения увеличиваются с увеличением скорости обработки. Когда скорость составляет 90 об / мин, скорость образования связанной резины и модуль накопления уменьшаются.

**Abstract (in Eng).** In this paper, the effects of fillers on the mechanical and dynamic properties of SBR / BR rubber under three different feeding sequences are studied. After infiltrating the pretreated white carbon black and rubber and adding carbon black, the agglomeration of filler is reduced, the dispersion of white carbon black in rubber is improved, and the blended rubber obtained has the highest content of bound rubber, and better mechanical properties and wear properties. By changing the process parameters, such as mixing temperature and mixing speed, it is found that the mechanical properties such as tensile strength and tear strength increase with the increase of temperature at the same speed; at the same temperature, with the increase of the speed, the dispersibility meter and SEM scanning show that the dispersion properties of carbon black are better, the mechanical properties of the rubber are increased, the compression temperature rise and the Akron abrasion loss are reduced, and the content of bound rubber and the storage modulus are increased with the increase of processing speed. When the speed is 90r / min, the formation rate of bound rubber and the storage modulus are reduced.

**Ключевые слова:** Черный углерод; Модификация технического углерода; Графен; Углеродные нанотрубки.

**Keywords:** Carbon black; Carbon black modification; Graphene; Carbon nano tubes.

Carbon black is the most widely used filler at present, and its reinforcing effect on the mechanical properties of rubber is very significant. With the increasing popularity of “green tires”, white carbon black has shown good mechanical properties in modified rubber, and its high elasticity and low heat generation make it the second-most suitable application after carbon black. Although the research on the mechanism of rubber reinforcement has been for a long time, the mechanism is still not clear<sup>[1]</sup>. For the same preparation

method, the morphology and structure will also be different due to different specific process conditions, where the feeding sequence, process parameters, and solution mixing will have a greater impact. Different mixing processes have a great impact on the dispersion of the filler and the combination of filler and rubber, that is, the formation of bound rubber has a greater impact. The bound rubber is considered to be an important index affecting the mechanical strength of rubber.

In this paper, the effects of mixing process,

including feeding sequence, mixing temperature and mixing speed, on the content of bound rubber, the dispersibility of rubber filler and the dynamic properties of rubber are studied.

**1 Experimental part**

**1.1 Main raw materials**

Styrene butadiene rubber (SBR-1712), China Petrochemical, BR9000, Beijing Yanshan Petrochemical, carbon black N234 and white carbon black from Jiangxi Blackcat Carbon Black Inc., Ltd., sulfur, accelerator NS, zinc oxide (ZnO), stearic acid (SA), anti-aging agent 4020, anti-RD and other ingredients commonly used in the rubber industry;

**1.2 Rubber formula**

Basic formula: SBR 103, BR 25, N234 45, white carbon black 25, Si69 2.5, ZnO 2.6, SA 1, 4020 1.5, RD 1, NS 2.3 and S 1.8.

**1.3 Experimental equipment and performance test**

(1) Mooney viscometer, MV2000, ALPHA; tensionen tester, 2020-DC, ALPHA; rubber processibility analyzer, RPA2000, ALPHA, DGAV carbon black dispersion meter, ALPHA, compression heat generator GT-RH -2000N; SEM, JSM-6700;

(2) Dynamic property test

RPA2000 rubber processibility analyzer produced by Alpha is used for testing;

Strain scanning test conditions: temperature 60 °C, frequency 60 Hz, strain range 0.25% to 100%;

**1.4 Bound rubber**

Weigh about 0.5g of the sample, package it in a stainless steel mesh with known mass, put it in 100ml of toluene solution, soak it for 72h, change the solvent, soak for 48h, take out the stainless

steel mesh, dry and weigh it, and calculate the bound rubber content according to the formula:

$$R(\%) = \left[ W_{fg} - W_s \times [M_f + (M_r + M_r)] \right] + \left[ W_s \times [M_r + (M_f + M_r)] \right]$$

R (%): represents the content of bound rubber;

$W_{fg}$ : represents the weight of bound rubber and filler after soaking and drying;

$W_s$ : represents the quality of the sample not soaked;

$M_f$ : represents the weight of the filler in the sample not soaked;

$M_r$ : represents the mass of rubber in the sample not soaked;

**2. Results and discussion**

**2.1 Effect of feeding sequence**

The two-stage mixing is carried out in the internal mixer in the rubber laboratory. The speed of the stage I rotor is 70r / min, the temperature is 90 °C, the speed of the stage II rotor is 60R / min, the temperature is 70 °C, and sulfur and accelerant are added in this stage. The feeding sequence scheme of stage I mixing is as follows:

Scheme 1: add rubber SBR / BR -- 1min, add part of carbon black N234 + white carbon black +SI69--2.5min, add the remaining filler -- 4.5min, and add small material -- 6min for rubber discharge.

Scheme 2: add rubber SBR / BR -- 1min, add small material -- 2 min, add part of carbon black + residual filler of white carbon black -- 3.5 min, and add the remaining filler -- 6 min for rubber discharge.

Scheme 3: add rubber SBR / BR -- 1min, add pretreated white carbon black (i.e. white carbon black and proper amount of Si69 are mixed evenly in advance) --2min, add part of carbon black + 3.5min, add the remaining filler -- 4.5min, and add small material -- 6min for rubber discharge.

*Table 1* Vulcanization Property Analysis under Different Feeding Sequences

Project	ML1+4 100°C	ML / (dN·m)	MH / (dN·m)	MH-ML / (dN·m)	t10 /s	t90 /s	1/(t90-t10)
Option 1	67.8	2.6	17.93	15.3	1.97	8.05	0.1645
Plan 2	66.5	2.5	17.23	14.7	2.10	7.98	0.1701
Option 3	69.1	2.4	16.50	14.1	2.14	7.49	0.1870

Different feeding sequences have different degrees of effect on the property of the mixed rubber. From Table 1, it can be seen that the maximum torque MH and the torque difference (MH-ML) of the mixed rubber in mixing process scheme 1 and 2 are equivalent, but the torque difference of 3 is small, which is due to the fact that the carbon black and white carbon are added to the SBR / BR rubber together. Due to the different wetting degrees of the two fillers with the rubber and the effect of mixing time,

it is easy to form filler aggregate. Therefore, the torque value of scheme 1 and 2 is higher, while that of 3 is the lowest. Meanwhile, the curing time of scheme 3 is shorter than that of scheme 1 and 2, and the curing rate is the fastest, which is due to the fact that the pretreated carbon black is infiltrated with the rubber before it is added, making the carbon black be evenly dispersed in the rubber so as to reduce the agglomeration of filler, and improve its dispersion in the rubber.

### 2.1.1 Mechanical property analysis

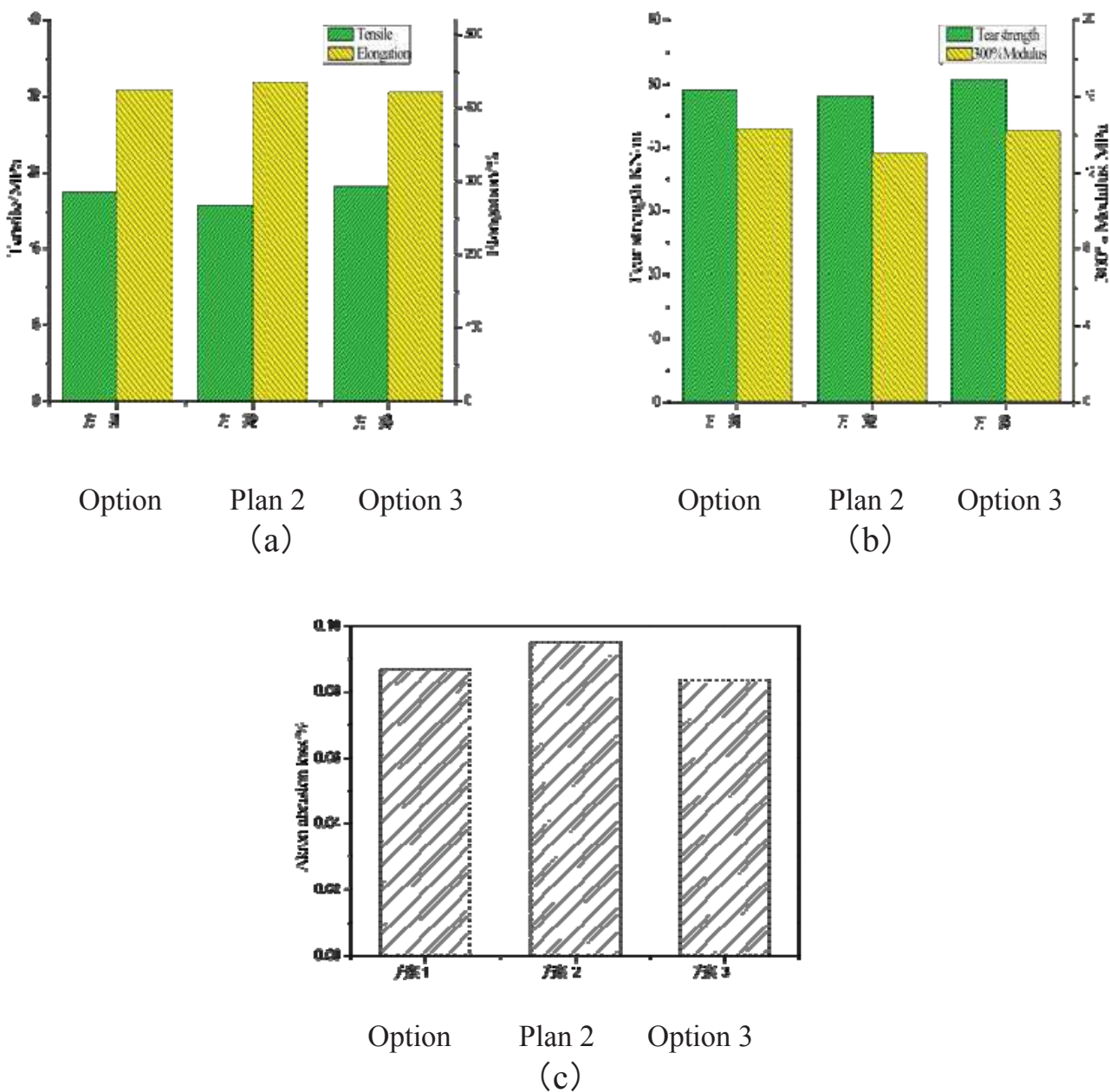


Figure 1. (a), (b) and (c) show the mechanical properties of different mixing processes

From Figure 1, it can be seen that the comprehensive mechanical properties of scheme 3 are the best, with high tensile strength, 300% definite elongation stress and tear strength, and low Akron abrasion loss, indicating that with the feeding sequence of scheme 3, white carbon black and carbon black can be evenly dispersed in the rubber, improving the mechanical properties of the whole rubber. In scheme 1 and 2, the sequence of adding small materials is different, but the way of adding filler is the same. In rubber mechanical properties, filler plays a leading role. Therefore, the difference of infiltration degree of white carbon black and carbon black in rubber affects its mechanical properties in rubber.

### 2.1.2 Content of bound rubber

The filler interacts with the polymer through physical adsorption, chemisorption, and mechanical interaction to form a bound rubber. In addition, the bound rubber has been considered as an important index of carbon black reinforcement<sup>[2]</sup>.

It can be seen from Figure 2 that the bound rubber content of scheme 3 is the largest, that of scheme 1 is the second, and that of scheme 2 is the lowest. Therefore, it can be concluded that the bound rubber

content of the mixed rubber with white carbon black fully dispersed is higher than that of the carbon black. This is because after the white carbon black is added first in the scheme 3, the white carbon black and the rubber are first coupled to form a bound rubber under the action of the silane coupling agent, and the carbon black added later has improved dispersibility under the action of shear force, resulting in increased bound rubber content.

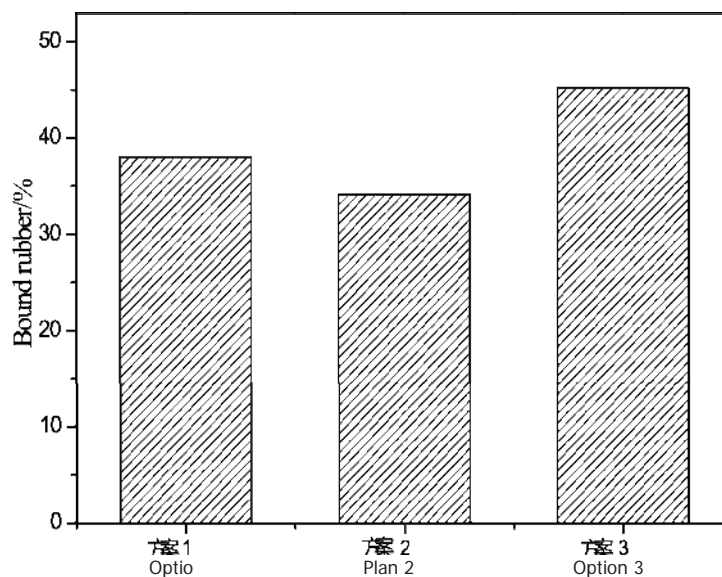
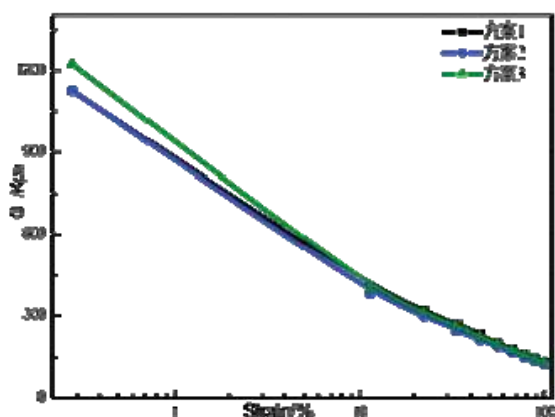
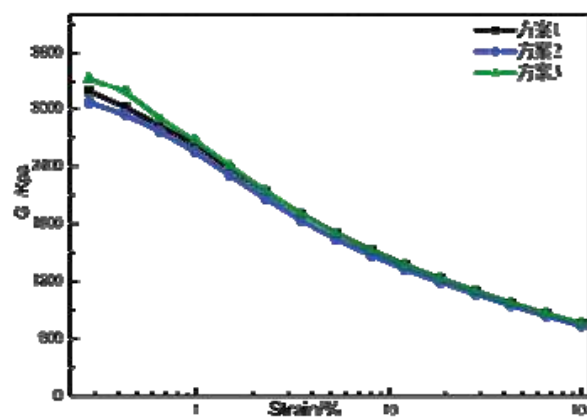


Figure 2. Bound Rubber Content under Different Mixing Processes

### 2.1.3 Dynamic property analysis



a) Relationship between the storage modulus  $G'$  of the mixed rubber and the strain



(b) Relationship between the storage modulus  $G'$  of the vulcanized rubber and the strain

Figure 3 (a) and (b) show the relationship between storage modulus  $G'$  and strain under different mixing processes

From Figure 3 (a), it can be seen that the storage modulus of the carbon black rubber under the three schemes of the mixing process decreases with increasing strain, and has a higher storage modulus under smaller strain, that is, as the strain increases, the storage modulus decreases rapidly. This is because when carbon black is added to rubber, carbon black and rubber adsorb to form a filler network under a smaller strain. Some rubber is covered by carbon black and loses its elasticity, so the stress is greater. When the strain increases, the adsorption and desorption between carbon black and rubber co-exist, the coated rubber is gradually released, and the stress decreases. When the strain is large enough to fully release the coated rubber, the stress no longer decreases, which is the Payne effect<sup>[3]</sup>. The Payne effect of scheme 3 is the strongest, which indicates that in this mixing process scheme, the filler network formed by the adsorption of fillers and rubber has a strong degree of network structure. However, in the other two process schemes, because the fillers are added in the same way, the change tendency of storage modulus with strain is basically the same and consistent with the change tendency of the bound rubber content.

Figure 3 (b) shows the strain scanning comparison of vulcanized rubber under three mixing processes.  $G'$  in vulcanized rubber under strain amplitude is the result of the interaction of cross-linked network and filler network<sup>[4]</sup>. It can be seen from the figure that the initial storage modulus  $G'$  of scheme 3 is slightly higher than that of the other two schemes when

the vulcanization dosage is equal, indicating that the interaction between filler and filler as well as filler and rubber is greater than that of the other two mixing schemes in this process scheme.

## 2.2 Effect of process parameters on the property of mixed rubber

The mixing process of rubber is the repetition of crushing, mixing, dispersing and simple mixing changes at the same time under the action of the mechanical shear force generated by the rubber elastomer and various ingredients when the rotor rotates, and finally achieves the desired physicochemical process of dispersion effect<sup>[5]</sup>. In this experiment, under the condition that other process parameters are constant and the temperature and the speed of the rotor are controlled, the effect of these two factors on the property of SBR / BR mixed rubber is studied. Through the property comparison of the above feeding sequence, mixing sequence in scheme 3 is adopted in this round of experiment.

Table 2 Sample Sequencing Table Prepared for Parameters of Different Mixing Processes

Speed / nmin <sup>-1</sup> Tempe- rature/°C	50	70	90
50	Sample 1	Sample 2	Sample 3
70	Sample no. 4	Sample no. 5	Sample no. 6
90	Sample 7	Sample 8	Sample 9

### 2.2.1 Vulcanization property analysis

Table 3 Rubber Vulcanization Characteristics of Each Sample under Different Mixing Process Parameters

Project	$M_L$ / (dN·m)	$M_H$ / (dN·m)	$M_H - M_L$ / (dN·m)	$t_{10}$ /s	$t_{90}$ /s	$1/(t_{90} - t_{10})$
Sample 1	2.46	17.27	14.81	2.30	8.84	0.152
Sample 2	2.36	17.45	15.09	2.29	8.75	0.155
Sample 3	2.36	17.74	15.38	2.28	8.72	0.155
Sample no. 4	2.38	17.84	15.46	2.39	8.94	0.153

Sample no. 5	2.42	17.64	15.23	2.36	8.76	0.156
Sample no. 6	2.43	17.68	15.25	2.35	8.74	0.156
Sample 7	2.51	17.49	14.98	2.44	8.74	0.158
Sample 8	2.48	17.69	15.21	2.35	8.64	0.159
Sample 9	2.45	17.83	15.38	2.3	8.51	0.161

From the data in Table 3, it can be seen that at the same temperature, with the increase of speed, the MH of samples 3, 6 and 9 is higher, indicating that with the increase of speed, the mixing effect is improved, and that the filler is evenly distributed in the rubber. Samples 1 and 4 have a long optimum curing time (t90), indicating that at low mixing temperatures and low speeds, the filler and ingredient are not evenly dispersed in the rubber, which is prone to agglomeration so as

to reduce the activation promotion effect of the vulcanizing agent, making it difficult to vulcanize the mixed rubber evenly, prolong t90 and reduce the curing rate. With the increase of mixing temperature and speed, the optimum curing time of samples 5 to 9 is shortened significantly, and the curing rate is increased, which indicates that at a suitable roll temperature and speed, the wetting rate of filler and rubber can be improved and the dispersion efficiency of ingredient.

### 2.2.2 Effect of different process parameters on physical and mechanical properties of the mixed rubber

Table 4 Effect of Different Process Parameters on Physical and Mechanical Properties of the Mixed Rubber

Project	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample no. 4	Sample no. 5	Sample 6	Sample 7	Sample 8	Sample 9
Tensile strength/MPa	20.1	21.4	21.5	20.8	21.5	22.0	22.2	22.9	21.8
Elongation at break/%	424.4	422.7	420.4	426.8	418.1	411.1	412.2	400.5	387.9
300% definite elongation stress / mpa	14.0	14.8	15.0	14.2	15.0	15.8	15.1	15.7	15.9
Hardness (ShoreA) / degree	69	68	67	68	68	68	69	68	69
Rebound /% (23°C)	37	38	38	37	38	39	37	38	38
Tearing property KN/m	44.6	45.8	46.5	46.2	48.8	49.8	47.8	48.0	46.8
Compression fatigue temperature rise / °C	41.7	40.4	39.7	41.5	40.6	39.1	41.4	40.1	39.7
Akron abrasion cm <sup>3</sup> / 1.61km	0.0902	0.0890	0.0880	0.0889	0.0865	0.0831	0.0815	0.0803	0.0868

It can be seen from Table 4 that at the same speed, as the temperature of the mixed rubber increases, the tensile strength, 300% definite elongation stress, and tear strength increase, while the elongation at break decreases. At the same temperature, as the speed increases, the mechanical properties increase, the compression temperature rises and the Akron abrasion loss decreases. However, in sample 9, the mechanical properties such as tensile strength and tear strength decrease, but the Akron abrasion loss increases, which is due to the fact that as the temperature or speed increases, the SBR / BR softens and the shear force on the rubber increases so as to increase the number of active sites in contact between the rubber and the filler and increase the mass fraction of the bound rubber generated, so the reinforcement property becomes better. However, at higher temperatures and high speeds, the shear deformation of the rubber increases, which increases the amount of heat generated, breaks the physical bonds between the molecules of the primary rubber, shortens the active chain end, weakens the activity, and reduces the

bound rubber generated by the filler, resulting in reduced rubber properties. It indicates that selecting the proper mixing temperature and speed can improve the mixing uniformity of the rubber. In the experimental research range, the mechanical properties of the rubber are better when  $70\text{ }^{\circ}\text{C} \times 90\text{r} / \text{min}$  or  $90\text{ }^{\circ}\text{C} \times 70\text{r} / \text{min}$  is used, but with the comprehensive factors such as mechanical properties and wear resistance of the rubber considered, the process conditions of  $90\text{ }^{\circ}\text{C} \times 70\text{r} / \text{min}$  should be selected.

### 2.2.3 Carbon black dispersion of different mixing process parameters

The carbon black dispersion in rubber is an important index for measuring the quality of mixed rubber, and it is also an important criterion for measuring the property of the finished mixed rubber. A carbon black disperser is used to analyze the dispersion of carbon black in the mixed rubber. The X value represents the dispersion level. The higher the level, the better the dispersion. The white area represents the area occupied by the white particles, which are the undispersed carbon black agglomerates.

Table 5 Carbon Black Dispersion of Different Mixing Process Parameters

No.	Sample 1	Sample 3	Sample no. 4	Sample no. 6	Sample 7	Sample 9
X value	6.6	7.5	6.9	8.1	7.8	7.2
Dispersion (%)	92.8	96.9	94.8	98.7	97.2	95.9
White area %	8.8	5.4	6.9	3.6	4.5	4.9

Dispersion value of carbon black in the rubber is as follows when the temperature is  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  and the speed is  $50\text{ r} / \text{min}$  and  $90\text{ r} / \text{min}$  respectively. After increasing the speed, the white area in the rubber decreases, but the X value and the dispersion increase, that is, the agglomeration of the small pieces decreases, and the carbon black is evenly dispersed. Increasing the mixing temperature at the same speed will increase the dispersion of carbon black in the rubber. This is because after increasing the mixing temperature, the fluidity of the rubber is improved, and the

dispersion rate of the carbon black in the rubber is increased, so that the carbon black can be evenly dispersed. Dispersion value of carbon black in the rubber when the temperature is  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  and the speed is  $50\text{ r} / \text{min}$  and  $90\text{ r} / \text{min}$  respectively. It can be seen from the data that the dispersity grade of sample 9 is reduced, which is due to the fact that at high temperature, high speed will cause the increase of heat generation, which will reduce the apparent viscosity of the mixed rubber, resulting in the decrease of shear stress and dispersion effect.



### 2.2.4 SEM analysis

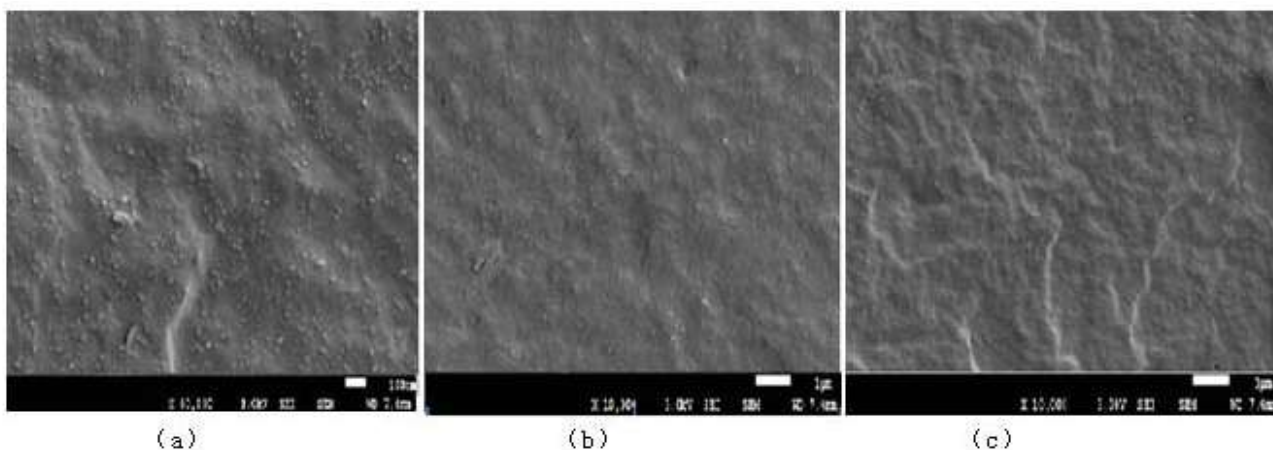


Figure 4 (a), (b) and (c) are SEM cross-section scanning of rubber filled by carbon black at 70 °C and 50 R / min, 70 R / min and 90 R / min respectively

It can be seen from the figure that when the speed is from 50r / min to 90r / min, the roughness of the rubber section gradually decreases, indicating that the increase of the speed will increase the degree of carbon black infiltration in rubber.

### 2.2.5 Content of bound rubber

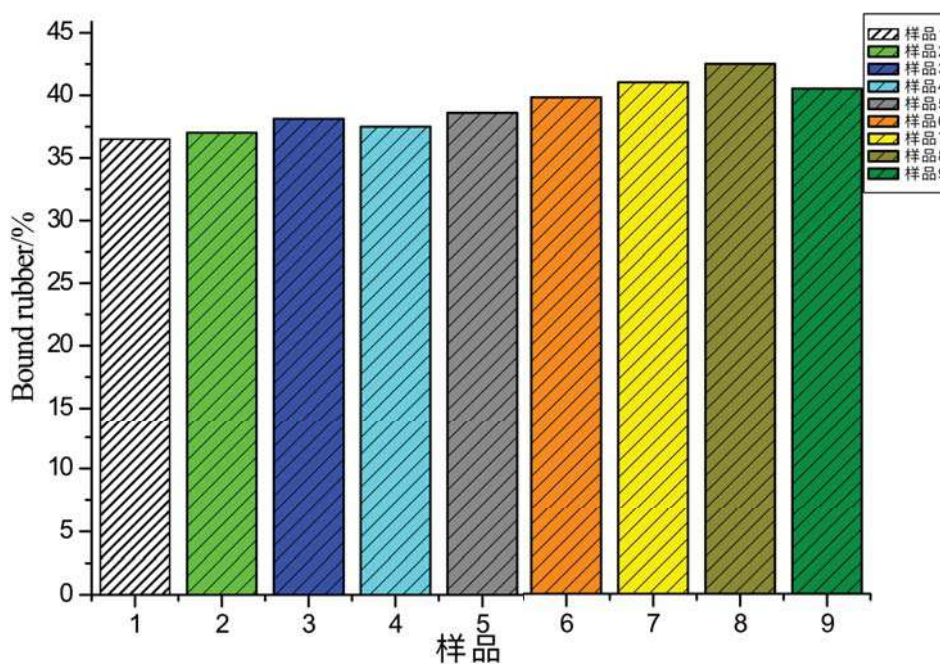
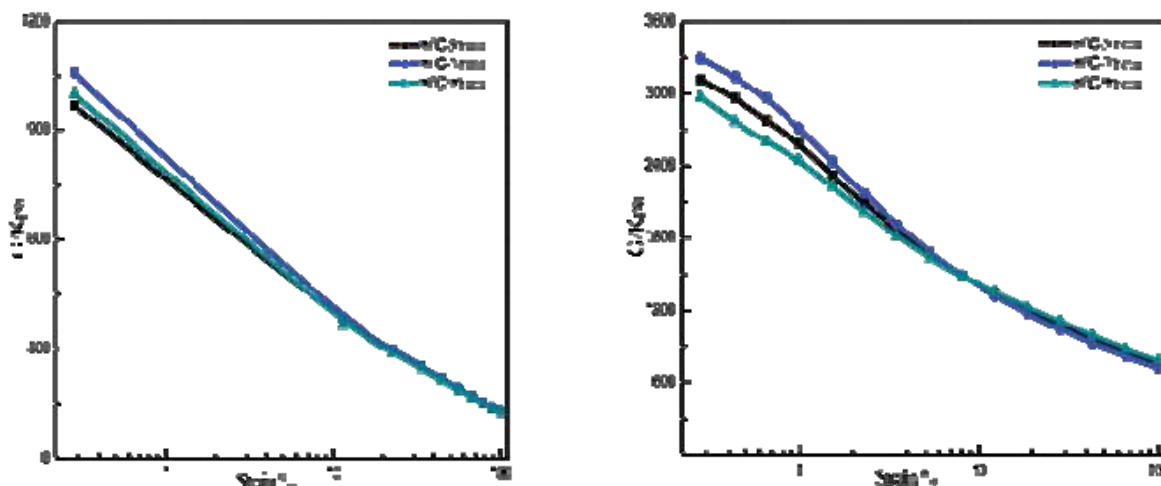


Figure 5 Bound Rubber Content of Each Sample

It can be seen from Figure 5 that at the same temperature, the amount of bound rubber increases with the increase of the speed, which is due to the fact that the molecular chain of rubber generates more active chain ends when it breaks under the action of high shear force and react with carbon black, so that the bound rubber content increases. At the same time, at the same speed, the increase in temperature increases the fluidity of

the rubber, thereby increasing the rate of powder feeding of the colloid, and enhancing the binding ability between the filler and the molecular chain of the rubber. When the temperature and speed continue to increase, the formed bound rubber network is damaged to a certain degree under the action of high temperature or high shear force, and the generation rate of the bound rubber decreases.

### 2.2.6 RPA analysis



(a) Relationship between the storage modulus  $G'$  of the mixed rubber and the strain

(b) Relationship between the storage modulus  $G'$  of the vulcanized rubber and the strain

Figure 6 (a) and (b) show the relationship between the storage modulus  $G'$  and the strain of mixed rubber and vulcanized rubber at different speeds at 90 °C

It can be seen from Figure 6 (a) and (b) that at the same temperature, the storage modulus of the mixed rubber and vulcanized rubber at different processing speeds has a different tendency. When the strain is less than 10%, the speed is changed from 50r / min to 70r / min and the storage modulus gradually increases, and when the speed is 90r / min, the storage modulus decreases. This is because under the action of high shear force, the force between the filler and rubber molecules increases, and the content of the bound rubber generated increases. The bound rubber adheres the filler to the rubber matrix, and plays a bridge role between the rubber and carbon black filler. The movement of the rubber's molecular chain is limited, showing a higher storage modulus in the macro view. However, when the shear force is too large, the molecular chain of rubber will be broken, resulting in peeling of the bonded rubber generated from the rubber, in damaging the formed bonded rubber network and in decreasing storage modulus.

#### Conclusion

1. It can be seen from the study of feeding sequence that under different feeding sequence,

after infiltrating the pretreated white carbon black and rubber and adding carbon black, the agglomeration of filler is reduced, the dispersion of white carbon black in rubber is improved, and the blended rubber obtained has the highest content of bound rubber, and better mechanical properties and wear properties.

2. As the temperature of the mixed rubber increases at the same speed, the tensile strength, 300% definite elongation stress, and tear strength increase, but the elongation at break decreases. At the same temperature, as the speed increases, the mechanical property increase, but the compression temperature rise and Akron abrasion loss decrease. The bound rubber content and storage modulus increase with the increase of processing speed, that is, when the speed is 90r / min, the generation rate of bound rubber decreases and the storage modulus decreases.

3. Proper mixing temperature and speed can improve the mixing uniformity of the rubber. In the different data of the above samples, with the comprehensive factors such as mechanical properties and wear resistance of the rubber considered, the process conditions of 90 °C × 70r / min should be selected.

## References

- [1] Kraus, G. Degree of cure in filler-reinforced vulcanizates by the swelling method. Rubber chemistry and technology, 30(3),928-951
- [2] Zhang Xinhui, Liu Yadong. THE EFFECTS OF THE BOUND RUBBER ON THE PROPERTIES OF NATURAL RUBBER [J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 1985, (04): 47-52.
- [3] Wang Menghuan. Effect of Polymer-Filler and Filler-Filler Interaction on Dynamic Mechanical Properties of Filled Vulcanized Rubber [J]. the Industry, 2001 (21): 38-44
- [4] Drozdov A D, Dorfmann A. The Payne effect for particle-reinforced elastomers [J]. Polymer Engineering and Science, 2002, 42(3):591-604.
- [5] Yu Aisheng, Xie Xiongchun, Chen Jiahui, et al. Study on Speed-variable Mixing in Internal Mixer [J]. the Industry, 2002, 22 (1): 46-48

© Wang Hong Chu Lingling, 2020



**Ссылка на статью:** Wang Hong Chu Lingling - Effects of Different Mixing Processes on the Dispersion and Dynamic Properties of Fillers in SBR/BR // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №1. – С. 10-19. DOI: 10.36616/2687-1335-2020-1-10-19 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-1/articles?View&page=10>

УДК 678.742

Дата направления в редакцию: 11-03-2020

Дата рецензирования: 12-03-2020

Дата публикации: 20-06-2020

**Ван Хонг Чу Линлин**  
Qingdao Black Cat Carbon  
Black Technology Co., Ltd.,  
Qingdao, Shandong, 266042

**Wang Hong Chu Lingling**  
Qingdao Black Cat Carbon  
Black Technology Co., Ltd.,  
Qingdao, Shandong, 266042

## АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В БУДУЩЕМ

### ANALYSIS ON THE DEVELOPMENT DIRECTION OF FUNCTIONALIZED CARBON BLACK IN THE FUTURE

**Аннотация (на рус).** В связи с растущим спросом на каучук для экологически чистых материалов, предприятия сажи в стране и за рубежом разработали функционализированную сажу с низким гистерезисом и низким сопротивлением качению, чтобы приспособиться к разработке зеленых шин. Окисление поверхности, модификация прививки и модификация оболочки являются обычными методами модификации технического углерода. Новые композитные материалы из углеродных нанотрубок / технического углерода и графена могут улучшить электрическую проводимость, теплопроводность и износостойкость резины протектора, уменьшить накопление тепла в резиновой основе протектора и повысить долговечность шины. Перспектива применения двух видов материалов также входит в поле изучения.

**Abstract (in Eng).** With the increasing demand of rubber for ecologically clean materials, soot enterprises in the country and abroad have developed functionalized soot with low hysteresis and low rolling resistance in order to adapt to the development of green tires. Surface oxidation, grafting modification and cladding modification are the conventional modification methods of carbon black. The new composite materials of carbon nanotubes/carbon black and graphene/carbon black can improve the electrical conductivity, heat conductivity and wear resistance of the tread rubber, reduce the heat accumulation of the tread base rubber, and improve the durability of the tire. The application prospect of two kinds of materials is also entering the field of vision.

**Ключевые слова:** Черный углерод; Модификация технического углерода; Графен; Углеродные нанотрубки.

**Keywords:** Carbon black; Carbon black modification; Graphene; Carbon nano tubes.

#### Preface

Functionalized carbon black refers to carbon black that is chemically or physically modified on the basis of carbon black so that the surface of the carbon black matrix material forms functional groups with certain chemical or physical properties and specific properties or functions.

With the development of the properties of carbon black, the application of carbon black has been expanded, including rubber, printing ink, coating, plastic, battery, electronic components, agriculture and synthetic leather and other industries and fields. At present, with the continuous upgrading of products in various fields, carbon black is regarded as the main raw material, and its product performance must continuously adapt to the new requirements of users. High-tech content and leading carbon

black products are becoming more and more popular. At present, the pressure of the global environmental pollution is very high. Whether the carbon black meets the environmental protection requirements in terms of the selection of raw materials, the whole process of the manufacturing process and the performance of final products and whether it can provide users with green, energy-saving and safe products has attracted more and more users' attention. All of these provide an opportunity for the development of various kinds of functionalized carbon black.

At present, functionalized carbon black for non-rubber purpose has developed rapidly. In particular, foreign famous carbon black enterprises have formed a series of high-end functionalized carbon black with complete functions, their own characteristics and standards

in recent ten years. These kinds of functionalized carbon black meet the green environmental protection development needs of printing ink, plastic, battery and other areas.

However, the development of functionalized carbon black for rubber purpose is lag mainly because the R & D and upgrading period of new products is long, and the requirement of green environmental protection performance of raw materials by downstream traditional users is not particularly strong. However, as the environmental awareness of the whole society continues to strengthen, the demand for green

environmental performance materials will continue to increase, so green environmental-friendly materials for rubber will also be more and more applied and popularized.

The rapid development of carbon black post-treatment technology, especially the rapid development of carbon nanomaterials in recent ten years, has provided technical support for the development of various kinds of functionalized carbon black in the future. This is mainly reflected in the treatment of specific surface area of carbon black, structure, pH, surface functional group and other properties.

**2. Technical development of functionalized carbon black for non-rubber purpose**  
**2.1 Performance indexes of pigment and conductive functionalized carbon black**

*Table 1* Scope of main indexes of medium and high-end conductive carbon black

Project	NSA10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> /kg	DBP, 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /kg	PH value	325#ppm	2/9 resistance ratio
Mid	>150	>150	6-8	<20	>1.8
High	>400	>300	6-8	<20	>1.8

*Table 2* Indexes of main pigment and conductive carbon black at home and abroad

S/N	Special carbon index	Blackness value M	Color intensity %	Volatile %	Oil factor 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /Kg	PH	Ash %	NSA 10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> /kg	Size nm
1	Middle-end pigment carbon black	-	95	1	150	8	0.2	81	24
2	Middle-end pigment carbon black	249	114	1.2	126	9	0.1	270	18
3	High-end pigment carbon black	286	112	20	160	3.5	0.02	550	13
4	High-end pigment carbon black	258	136	1	52	9.5	0.8	240	15
5	High-end pigment carbon black	265	141	1	98	9	0.4	350	14
6	Middle-end conductive carbon black	150	86	0.5	190	7.2	1.0	200	20
7	High-end conductive carbon black	261	124	0.5	420	7.8	1.6	1000	30

These carbon black indexes endow with excellent dyeing performance, high blackness, high conductivity, high dispersity, high purity, and low pollution characteristics. Some of the

excellent properties of carbon black are mainly produced by treating the surface of the carbon black, which are typical representativeness of functionalized carbon black. The development

trend of functionalized carbon black for non-rubber purpose in the future mainly focus on making carbon black have high specific surface area, high structure, high dispersity, high acidity and alkali and low ash content and other characteristics through the treatment of the surface of carbon black.

## 2.2 Grafting modification technology of functional group on the surface of carbon black

[1] The surface of carbon black is activated by the polymer material with free radical trapping effect, so that it can initiate the activity and then initiate the polymerization and grafting of the monomer. For example, butyl acrylate is grafted onto the surface of carbon black by atom transfer radical polymerization (ATRP) by using carbon black particles with  $C_6H_4Na$  on the surface as a raw material. The experiments of thermal weight loss and light scattering show that a considerable amount of polymer has been grafted onto the surface of carbon black to obtain poly butyl acrylate. The grafted functionalized carbon black can form stable dispersion liquid in organic solvent.

[2] Carbon black is mixed with diazonium salt solution containing silver, copper, nickel, etc. The metal groups can be linked to the organic groups on the surface of carbon black and generate special functionalized properties. It is mainly used in the fields of catalysis, electron heat transfer, ion heat transfer, absorber and luminescence.

## 2.3 Modification treatment for reducing the structure of carbon black

The structure of carbon black (DBP=20-40cc/10g, I<sub>2</sub>=30~200mg/g) can be effectively reduced by injecting auxiliary hydrocarbon gas into the reaction zone of carbon black.

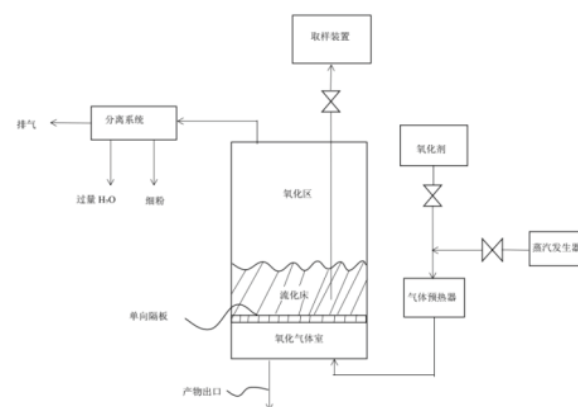
This low-structure carbon black is used in the fields of toner, spray ink, pigment, and the like. The coating viscosity can be reduced. More carbon black is allowed to be added, and a higher optical density (reflecting the opacity of the material) can be obtained with few alkali metals, and low acidity and hydrophilicity. In the conventional production, alkali metal is injected into a reaction furnace to reduce the structure, so that more electriferous groups and charge are

accumulated on the surface of carbon black

This improves the viscosity of printing ink, pigment, coating, and makes carbon black acidic and hydrophilic, hindering the compatibility with printing ink, pigment and other polymers in the coating.

## 2.4 Modification treatment of porous carbon black by oxidation

Mesoporous carbon black having void greater than 2 nm and a higher specific surface area is formed by oxidation of carbon black with oxidizing agent in a fluidized bed. The general specific surface area is over 600-1,200 m<sup>2</sup>/g, NSA/STSA = 0.95-1.1. Figure 1 is a process flow chart of oxidation modification.



The main process conditions include:

Oxidant: steam, CO<sub>2</sub>, nitrogen, or inert gas;

Fluidized bed temperature shall be greater than 800 °C;

Ratio of steam to carbon black weight = 0.2;

Carbon black flow rate = 0.1 m/s, reaction time is more than 0.5 hour.

Figure 1 Process flow chart of oxidation modification

This kind of mesoporous functionalized carbon black is mainly used in conductive plastics, ink-jet ink, battery electrode and ultra-large capacitor. In the past, the carbon black with void is produced mainly by increasing the reaction time of the carbon black in the reaction furnace and adding alkali metal. However, this method can only obtain microporous carbon black with void of less than 2 nm.

## 2.5 Modification treatment for improving the structure and dispersity of carbon black

In order to improve the structure of carbon black, a multistage reactor is used to spray raw

material at more than two positions in the axial direction. In addition, various kinds of oxidizing active agent are injected downstream of the reaction section, so that various functional groups are formed on the surface of carbon black, and the dispersity of carbon black is improved. The main indexes of functionalized carbon black: DBP > 170, STSA = 160-220. The following diagram shows the structure of the multistage reactor.

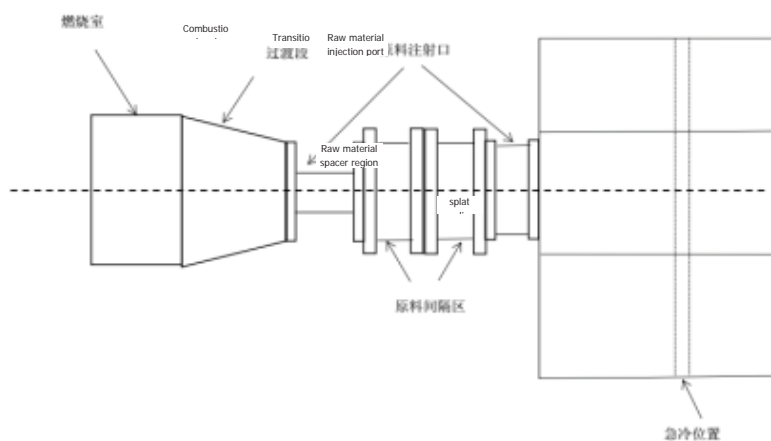


Figure 2 Structure diagram of multistage reactor

### 2.6 Preparation of functionalized carbon black slurry

Printing ink is the biggest pollution source of the printing industry at present and the environmental-friendly ink, mainly including the water-based ink, is the development direction in the future. The carbon black slurry with different concentration can be prepared by modifying and emulsifying the surface of carbon black, and the concentration can be adjusted arbitrarily by adding water, which is the most important material for preparing black water-based environmental-friendly ink.

### 2.7 Carbon nano materials/carbon black composites

Through the modification of carbon black and physical or chemical combination of carbon nano tubes and graphene, new nano-scale composite materials are produced. These new materials will improve the corrosion resistance of the coating, improve the storage capacity of the battery and fast charging. They are applied in anticorrosive paint, new energy automobile battery, mobile phone battery and so on.

### 3. Technical development of functionalized carbon black for non-tire rubber products

Functionalized carbon black for non-tire rubber products is modified on the basis of existing ASTM standard and is mainly divided into two types.

One is to increase the purity of carbon black to meet specific performance requirements. The ash content and 325 mesh sieve residue of this



Figure 3 Conventional carbon black solution (delamination)

Figure 4 Carbon black emulsion slurry (uniform)

type of carbon black are very low. Ash content is typically less than 0.10% and 325 mesh sieve residue is less than 20 ppm; specific surface area is CTAB 30-45 m<sup>2</sup>/g, COAN 50-90 ml/100g. This type of carbon black is suitable for rubber extrusion, calendaring and molded products, especially automotive sealing strips. Such carbon black products are not only improved in appearance but also extended in service life, and are more easily dispersed and more uniformly vulcanized during rubber processing to reduce the rejection rate.

The other is a special variety “tailored” for industrial rubber products for specific use. This kind of carbon black can be used for rubber products with different functions, such as door and window sealing strips, wiper, air-conditioning pipe, oil seal, transmission belt and sealing ring through improving comprehensive property by modification treatment including oxidation and grafting.

## 4. Technical development of functionalized carbon black for tire

### 4.1 Concept of green tire

Throughout the development history of tire, from the initial solid tire to bias tire, and then to the radial tire, and finally to the current green tire, it is a process where tire rolling resistance constantly decreases. In 1992, Michelin produced the first green tire (containing silicon), meaning that low rolling resistance radial tires will begin to replace ordinary radial tires.

Currently, the concept of green tire extends to radial tire that uses new material and design to reduce rolling resistance, thus achieving low fuel consumption and low exhaust emission.

During the driving process of the automobile, the tires will be deformed to cushion the unevenness of the road surface, so they can provide grip and comfort. When the rubber sizing material is deformed, its temperature rises and it consumes part of the energy transmitted by the engine. This phenomenon is called rolling resistance. On average, 20%-30% of the fuel consumption is used to overcome rolling resistance, while the rest of the fuel consumption is used to combat air resistance, inertia, and internal friction (e.g., inside the engine or gearbox).

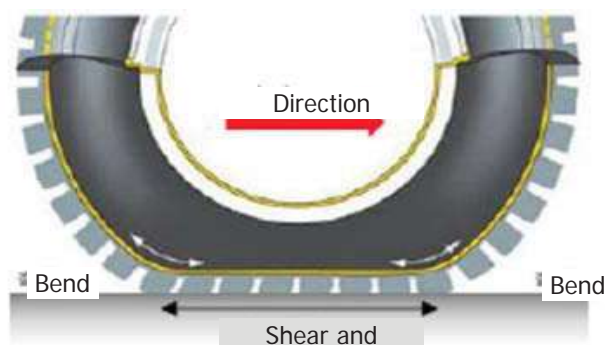


Figure 5 Schematic diagram of tire rolling resistance formation

### 4.2 Development of green functionalized carbon black

The tire industry focuses on environmental protection and safety, and the tire performance is developing towards the direction of low rolling resistance, high traction, good wear resistance and durability, which promotes the development and application of new carbon black varieties. At present, foreign carbon black enterprises

have developed some functionalized high-quality carbon black to meet the needs of high-performance tires and racing-car tires, including green low hysteresis carbon black, ultra-high structure carbon black, nano structure carbon black and modified carbon black and other new varieties, so that comprehensive performance of tires gets improved in the premise of maintaining tread wear resistance.

#### 4.2.1 Modified carbon black<sup>[1-2]</sup>

In order to adapt to the development of green tires, carbon black enterprises at home and abroad have developed functionalized carbon black with low hysteresis and low rolling resistance properties, such as two kinds of dual-phase carbon black containing silicon developed by Cabot of the United States: CSDPF2000, with low silicon content and uniform distribution inside and outside of carbon black particles, is mainly used for truck tires; CSDF 4000, with high silicon content, and silicon covered on the surface of carbon black, is used for car tires.

Richardson Corporation of the United States developed and launched a new class of functionalized carbon black derived from chemical modification. ES 200, carbon black is mainly used for loader tires.

The modification methods of carbon black mainly include surface oxidation modification<sup>[3]</sup>, grafting modification<sup>[4-7]</sup> and cladding modification. Surface oxidation modification can be divided into gas phase oxidation, liquid phase oxidation, plasma oxidation and catalytic oxidation. The main purpose is to increase the carbonyl group, hydroxyl group, carboxyl group and other functional groups on the surface of carbon black, so as to increase the combination of carbon black and rubber, increase the content of the combined rubber and improve the wear resistance of the sizing material. However, this has little effect on reducing the heat generation and hysteresis loss of the sizing material.

#### (1) Modification by liquid phase oxidation

Carbon black is treated with one or more kinds of ionic liquid. It can be found from the pictures that there are many "grape" particles. After amplification to observe particles, it can be found that different sizes of carbon black particles overlap together, carbon black is more compact in morphology, and irregular in shape.



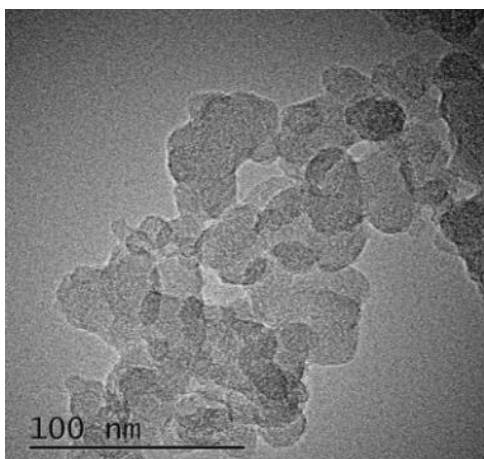


Figure 6 Liquid phase oxidation modified carbon black

The wetting process and dispersion time of carbon black modified by liquid phase oxidation are obviously shortened, and the flexural fatigue resistance of styrene-butadiene rubber vulcanizates can be greatly improved by adding ionic liquid.

(2) Grafting modified carbon black

The process of linking a polymeric compound to the surface of carbon black by chemical action. It includes free radical grafting, polymerization grafting and grafting of surface functional groups of carbon black with polymer. The main purpose is to increase the bonding with a certain matrix, and the surface of carbon black is grafted with the same substance of the matrix to increase the bonding with a certain matrix.

In the above, butyl acrylate is grafted onto the surface of carbon black by atom transfer radical (ATRP) polymerization by using carbon black particle with sodium benzene carboxylate (-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Na) on the surface as a raw material. The experiments of thermal weight loss and light

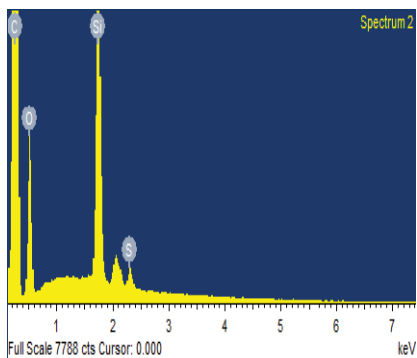


Figure 9 Energy spectrum analysis

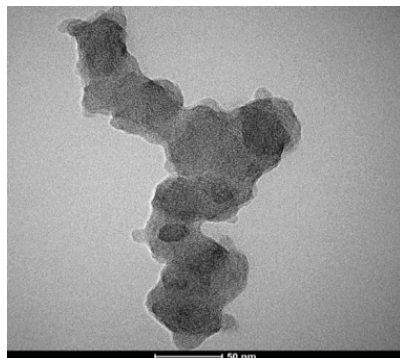


Figure 10 Electron microscope photo of cladding modified carbon black

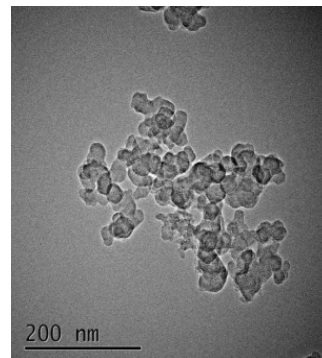


Figure 11 Electron microscope photo of common carbon black

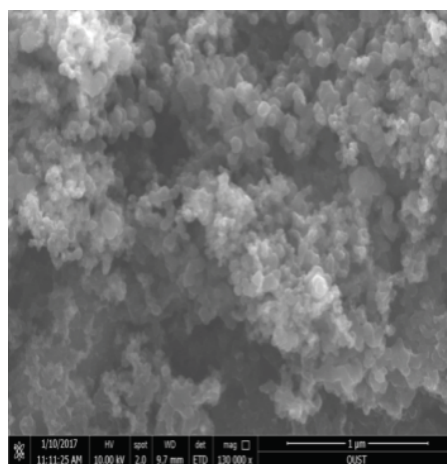


Figure 7 Electron microscope photo of liquid phase modified carbon black

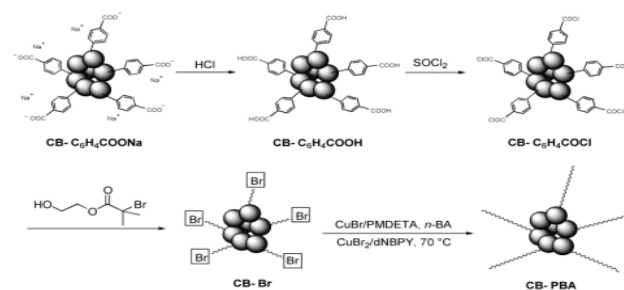


Figure 8 Schematic diagram of grafting modified carbon black

scattering show that a considerable amount of polymer has been grafted onto the surface of carbon black to obtain poly butyl acrylate. The grafted carbon black may form stable dispersion in organic solvent.

(3) Cladding modified carbon black

The main purpose of the modification process of carbon black coated with white carbon black is to improve the dispersion of white carbon black in carbon black and sizing material.

#### 4.2.2 Carbon nano materials/ carbon black composites

##### 1. Carbon nano materials

Carbon nano materials mainly include graphene, carbon nano tubes and fullerene. These carbon nano materials mainly have the following characteristics:

##### A. Fullerene

It is a kind of carbon in elemental form with zero-dimensional structure. Among them,  $C_{60}$  molecule was found earlier and has made important progress.  $C_{60}$  molecule is a molecule made up of 60 carbon atoms. It resembles a football, so it is also known as footballene.  $C_{60}$  is a stable molecule formed solely by the binding of carbon atoms, with 60 vertexes and 32 faces, of which 12 are regular pentagons and 20 are regular hexagons, with a relative molecular mass of about 720. It has many excellent properties, such as superconductivity, strong magnetism, high pressure resistance, and chemical corrosion resistance, with broad application prospects.

##### B. Carbon nano tubes

Carbon nano tubes are in one-dimensional structures, mainly divided into single-walled and

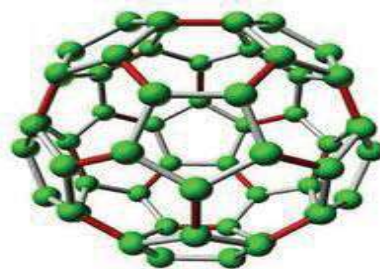
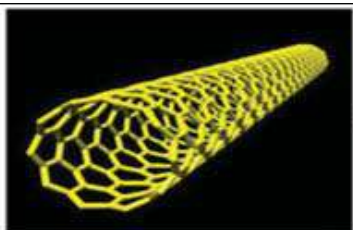


Figure 12 Schematic diagram of fullerene  $C_{60}$  structure

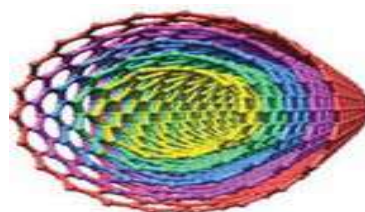
multi-walled carbon nano tubes. Carbon nano tubes have good mechanical properties. The tensile strength reaches 50-200 GPa, which is 100 times higher than that of steel, but the density is only 1/6 of that of steel. The draw ratio of the carbon nano tubes is generally 1,000: 1 or more. carbon nano tubes are ideal high-strength fiber materials. Carbon nano tubes have good electrical conductivity, good heat transfer performance and high thermal conductivity. As long as a small amount of carbon nano tubes are doped into the composite, the thermal conductivity of the composite may be greatly improved.

Length: 1-50  $\mu\text{m}$ , diameter: 0.75-3 nm.



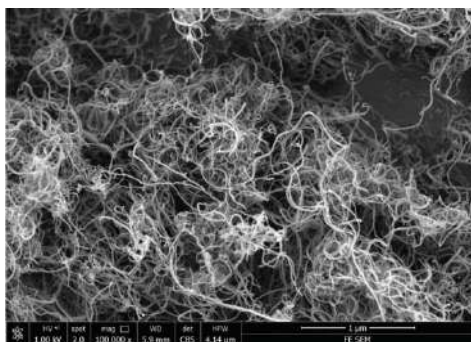
Single-walled carbon nano tubes

Length: 0.1-50  $\mu\text{m}$ , diameter: 2-30 nm, layer number: 2-50, layer spacing:  $0.34 \pm 0.01$  nm



Multi-walled carbon nano tubes

Figure 13 Schematic diagram of single-walled and multi-walled carbon nano tubes



Heat conductivity coefficient W/Mk

Tear strength kN/M

Volur resistivity

Tensile strength/MPa

Figure 14 Electron microscope photo of carbon nano tubes

C. Graphite [8-9]

Graphene is in two-dimensional structure, divided into single-layer, few-layer and multi-layer graphene, with high electrical conductivity, extremely high heat conductivity coefficient (better thermal conductivity than carbon nano tube), high strength, ultra thin and light properties. The following is electron microscope photo of graphene.

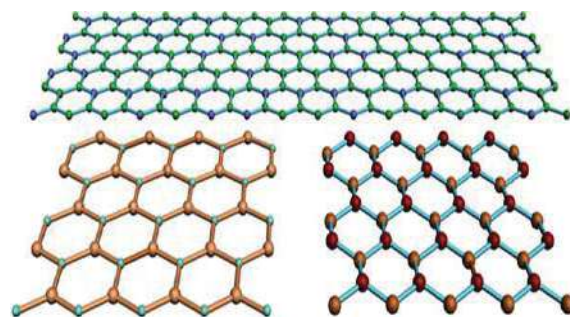
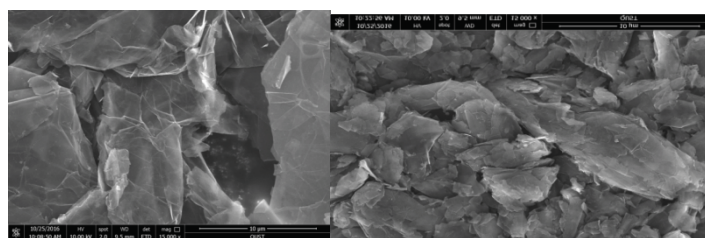


Figure 15 Structure diagram of graphene



Single-layer

Few-layer

Multi-layer

Figure 16 Electron microscope photo of graphene

(2) Development of functionalized nano carbon black for tire purpose

Through the composite treatment of carbon nano tubes [10-15] with carbon black, graphene and carbon black, a composite material of carbon nano tube /carbon black and graphene/carbon black is formed, and the following objects are achieved:

A. To improve the dispersion of nano materials in rubber matrix, the interaction between composite fillers and the interaction

between fillers and rubber without destroying the properties of nano materials.

B. To improve the electrical conductivity, heat conduction and wear resistance of the tread rubber, reduce the heat accumulation of the tread base rubber, and improve the durability of the tire.

C. To solve the difficult dispersion of nano materials in sizing material, and to meet the need of higher mechanical properties of rubber composite.

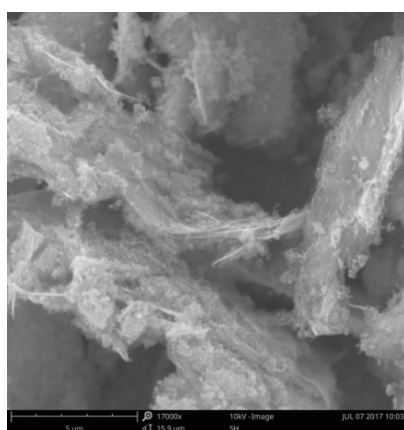


Figure 17 Electron microscope photo of graphene/carbon black composite

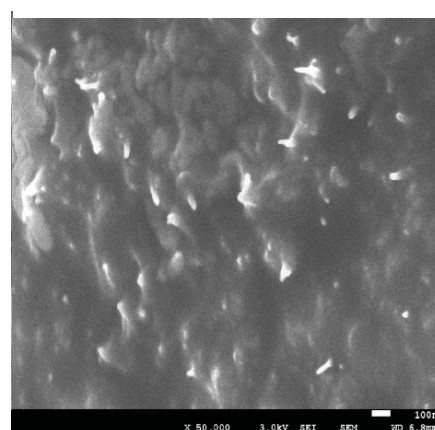


Figure 18 Electron microscope photo of carbon nano tubes/ carbon black rubber compound



Figure 19 Electron microscope photo of graphene/carbon black composite

(3)

Properties of graphene/carbon black, carbon nano tubes/carbon black

The following data show a comparison of the sizing material properties of two composites with conventional N234 in a radial half steel tire formulation (Table 3).

Table 3 Comparison of properties of sizing material

	N234	N-1	N-2
Heat conductivity coefficient W/Mk	100	135	125
Volume resistivity/ $\Omega$ .cm	100	1	1
Akron abrasion/ $\text{cm}^3/1.6\text{km}$	100	70	75
Hardness	100	103	102
Tensile strength/MPa	100	114	110
Tear strength kN/M	100	140	133
300% definite elongation stress / mpa	100	128	132
Compression temperature rise/ $^{\circ}\text{C}$	100	95	98

Note: N-1: graphene/carbon black composite; N-2: carbon nano tubes/carbon black composite.

## 5. Conclusions

In terms of the development course of carbon black, it has been more than 50 years since the birth of new process carbon black. with the rapid development of scientific and technological progress, major changes have taken place in

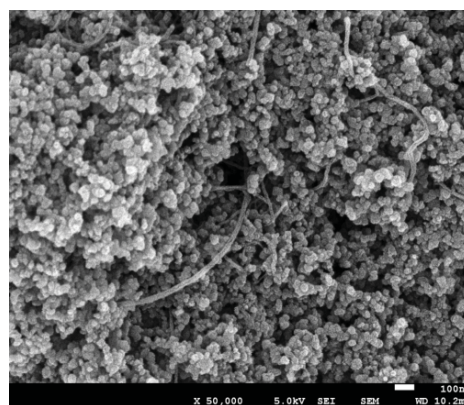


Figure 20 Electron microscope photo of carbon nano tubes/ carbon black composite

relevant industries related to carbon black, and environmental protection and safety have become a consensus, which requires the future development of the carbon black industry to adapt to these changes. The current production process of carbon black and the performance of raw materials can not meet these requirements, which requires researchers in the carbon black industry to break through the existing process, and to produce environmental-friendly and safe carbon black products needed by the market based on the existing raw materials.

Therefore, the technical R & D of functionalized carbon black will be an important aspect of the scientific and technological progress of carbon black in the future. However, the following technical difficulties still exist:

- 1) Continuous processing technology and mass production of functionalized carbon black;
- 2) Processing technology of functionalized carbon black and environmental protection of raw materials;
- 3) Product seriation and stability of functionalized carbon black;
- 4) High cost of functionalized carbon black.

In the future, with the continuous increase of scientific and technological input in the carbon black industry and the unremitting efforts of scientific research personnel, the above difficulties will also be broken through, so that functionalized carbon black will be widely used and popularized.

## References

- [1] Cen Lan, Zhou yanhao, Yangfulin. Modification of Carbon Black and Its Application in Rubber [J]. Special Purpose Rubber Products, 2007, 28 (4): 7-11.
- [2] Liu Yutian. Reinforcing Properties of Modified Carbon Black in NR and NR/BR Blend Rubber [J]. World Rubber Industry, 2001, 28 (1): 12
- [3] Yang Jinping, Li Yong. Oxidation Modification of Carbon Black [J]. Rubber Industry, 2000, 47 (4): 202
- [4] Li Weiqing, Luo Yuanfang. Study on NBR Composite Filled with Monomer Grafted Carbon Black [J]. Rubber Industry, 2005, 52 (8): 460
- [5] Li Weiqing, Luo Yuanfang. Study on NBR Composite Filled with Monomer Grafted Carbon Black [J]. Rubber Industry, 2005, 52 (8): 326
- [6] Zhou Jianhua, Li Peng. Study on Grafting Modification of Acrylamide on Carbon Black [J] Journal of Qilu University of Technology, 2004, 118 (1): 61
- [7] Xia Fuxia, Li Yong, Li Jihong. Effect of Coupling Agent Modified Carbon lack on Rubber Properties [J], Rubber Industry, 1996, 43 (6): 335
- [8] Jiang Jing, Jia Hongbing, Wang Jingyi. Research Progress in Graphene/Polymer Composites [J]. China Synthetic Rubber Industry, 2011, 34 (6): 482-488
- [9] LI Fayong, Yan Ning, Zhan Yanhu, et al. Probing the reinforcing mechanism of graphene and grapheme oxide in natural rubber[J], Journal of Applied Polymer Science, 2013, 129(4):2342-2351.
- [10] Xu tuyuan, Wang Song. Research progress in Carbon Nano tubes/Rubber Composites [J]. China Synthetic Rubber Industry, 2011, 34 (6): 489-494.
- [11] Kim H.S., Park B.H., Yoon J.S., et al Nylon 610/functionalized multiwalled carbon nanotubes composites by insitu interfacial polymerization [J]. Materials Letters, 2007, 61(11-12):2251-2251
- [12] McNallya T., Potschkeb P., Halley P., et al. Polyethylene multiwalled carbon nanotube composites[J]. Polymer 2005, 46(19):8222-8232
- [13] Yu Haitao, Lu Yonglai, Zhang Liqun. The Effect of Carbon Nano Tube Properties on the Mechanical Properties of Natural Rubber/Carbon Tube Composites, The 7th National Conference on Composite Materials, Beijing, 2012.
- [14] Xu Huaming, Liang Ji. PMMA/Aligned Carbon Nano Tube Composites: Study on Electrical and Thermal Conductivity [J]. Chinese Journal of Inorganic Chemistry, 2005, 21 (9): 1353-1356
- [15] Liang Lijuan. Study on Vulcanizability of Carbon Nano Tubes/Silica/Carbon Black/ Soluble Styrene Butadiene Rubber [Degree Paper]. CNKI, Nantong University, 2010, 6.

© Wang Hong Chu Lingling, 2020



**Ссылка на статью:** Wang Hong Chu Lingling - Analysis on the Development Direction of Functionalized Carbon Black in the Future // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №1. – С. 20-29. DOI: 10.36616/2687-1335-2020-1-20-29 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-1/articles?View&page=20>

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 674

Дата направления в редакцию: 05-06-2020

Дата рецензирования: 06-06-2020

Дата публикации: 20-06-2020

**Павликов Денис Александрович**

*АО «ТЭЦ «Белый Ручей»,  
п.Депо Вытегорского района  
Вологодской области, РФ*

**Шишин Михаил Сергеевич**

*АО «ТЭЦ «Белый Ручей»,  
п.Депо Вытегорского района  
Вологодской области, РФ*

**Pavlikov Denis Alexandrovich**

*Bely Ruchey JSC, Depo village  
of Vytegorosky district,  
Vologda region, Russia*

**Shishin Mikhail Sergeevich**

*Bely Ruchey JSC, Depo village  
of Vytegorosky district,  
Vologda region, Russia*

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ КОРОДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ОТ ВЛАЖНОСТИ

## WAYS TO INCREASE THE ENERGY INTENSITY OF BARK AND WOOD WASTE TAKING INTO ACCOUNT THE DEPENDENCE OF THE HEAT OF COMBUSTION ON HUMIDITY

**Аннотация (на рус).** Предложены способы повышения энергоемкости кородревесных отходов. Проведены исследования теплотворной способности различных видов кородревесных отходов. Построена зависимость теплоты сгорания от влажности.

**Abstract (in Eng).** Methods of increasing the energy intensity of bark-wood waste are proposed. Studies of the calorific value of various types of bark and wood waste have been carried out. The dependence of the heat of combustion on humidity is constructed.

**Ключевые слова:** теплота, влажность, энергоемкость, отходы.

**Keywords:** heat, humidity, energy intensity, waste.

Работа по повышению энергоемкости кородревесных отходов с учетом зависимости теплоты сгорания от влажности выполнена при поддержке Правительства Вологодской области в рамках государственного научного гранта.

The work on increasing the energy intensity of bark-wood waste, taking into account the dependence of the heat of combustion on humidity, was carried out with the support of the Government of the Vologda region in the framework of a state scientific grant.

В XXI веке широкое распространение получает энергетика, функционирующая на во-

зобновляемых источниках энергии. Одним из направлений «зелёной» энергетики является выработка тепловой и электрической энергии при сжигании отходов от деревообработки и заготовки древесины. Различные виды кородревесных отходов от деревообработки – опил, кора, щепа, стружка, горбыль, а также отходы от лесозаготовки – пни, ветки, верхняя часть дерева, бракованная древесина являются топливом для котельных, ТЭЦ. При этом осуществляется симбиоз двух видов промышленности: деревообрабатывающей и энергетической отраслей. Лесозаготовительные предприятия при этом утилизируют свои отходы, и, как показывает практика, совсем не

бесплатно, энергетические компании на данном топливе могут создавать распределенную энергетику и замещать традиционные источники генерации, тем самым снижая выбросы в атмосферу. Однако, при передаче кородревесных отходов от производителя (деревообработка) к потребителю (энергетика) происходит раздел интересов. Лесозаготовительным и деревообрабатывающим предприятиям требуется избавиться от отходов и включить свои затраты по хранению, транспортировке отходов в стоимость топлива. Учет всей продукции (в том числе и отходов) в деревообрабатывающей промышленности ведется в плотных кубических метрах. Энергетикам же нужно максимальное снижение переменных затрат (в том числе за счет удельного расхода) и стабильная работа оборудования, поэтому качество топлива, его характеристики выходят на передний план. При этом генерирующим компаниям интереснее рассматривать теплотворную способность, а не объемную или весовую характеристику получаемого топлива.

На практике в заключаемых договорах отражается объем поставки и максимально допустимая влажность топлива. Однако один кубический метр опилок при разной влажности будет иметь разную энергетическую характеристику и при сжигании выделять различное количество тепла. Для того, чтобы снизить влажность топлива энергопредприятия, применяют различные методы: складирование крупнофракционного топлива (горбыль, стволы деревьев, пни) для естественной сушки в течение длительного периода (до года), применение складов для снижения влияния атмосферных осадков и почвенной влаги, гуртование, применение укрывных материалов и т.д. Данные мероприятия достаточно затратные. Для того, чтобы вовлечь в процесс подготовки топлива производителей кородревесных отходов, требуется разработать зависимость стоимости отходов от их энергетической емкости. Однако определить теплотворную способность каждой партии товара достаточно длительный и дорогой процесс. В связи с тем, что основное влияние на калорийность кородревесных отходов оказывает влажность, требуется определить зависимость теплотворной способности от

влажности каждого вида топлива и рассчитать возможную стоимость одной энергетической единицы.

Выработка электрической и тепловой энергии на ТЭЦ «Белый Ручей» производится по схеме, включающей в себя два паровых котла с кипящим слоем типа Е-25-3,9-440 («ИНЭКО-БЭМ», Москва-Белгород), предназначенных для сжигания разнообразных древесных отходов, и одну паровую турбину типа П-6-35/0,5-1 («КТЗ», Калуга).

Котлоагрегат Е-25-3,9-440 с предтопком кипящего слоя обеспечивает эффективное, экономичное и экологически безопасное сжигание высоковлажного и низкокалорийного топлива. В соответствии с паспортом котла возможно сжигание топлива влажностью до 57% без подсветки резервным топливом. На практике в осенне-зимний период данная влажность достигается смешиванием различных видов топлива с разной влажностью.

Основные виды используемого топлива:

- 1) опил, стружка, щепа из древесины хвойных пород,
- 2) кора еловая,
- 3) кора сосновая,
- 4) щепа осиновая,
- 5) щепа березовая.

Первые три позиции являются отходами от линий разделки деревообрабатывающих производств и основная масса (более 95%) подготовлена к сжиганию в котлах (фракция не превышает более 50 мм по самой длинной стороне). Часть топлива, превышающая допустимые размеры (длинная кора, остатки досок и т.д.), отсеивается на сортировках и направляется на измельчение в рубительной машине молоткового типа Jenz AZ 65D.

Последние позиции возникают в процессе переработки стволов деревьев, поставляемых из лесозаготовок или после выбраковки на складах лесоперерабатывающих предприятий. Переработка в топливную щепу производится на рубительной машине барабанного типа Jenz НЕМ 560STA.

*Научная новизна работы*

Научная новизна работы заключается в совершенно новом (инновационном) подходе работы с поставщиками для предприятий отрасли энергетики, которые используют отходы деревообработки в качестве топлива.

На территории Вологодской области значительное количество предприятий, которые используют данный вид топлива. При этом топливо приобретают в объемных величинах. Однако один кубический метр отходов деревообработки при разной влажности будет иметь разную энергетическую характеристику и при сжигании выделять различное количество тепла. Целью данной научной работы является определение целесообразности приобретения отходов для сжигания в энергетических величинах, т.е. приобретение количества энергии, а не вес или объем топлива. Для того, чтобы принимать количество энергии, содержащейся в топливе, эмпирическим путем выводят зависимость теплотворной способности конкретного вида древесного топлива от его влажности. Данный метод имеет ряд положительных моментов:

- улучшение качества топлива (поставщикам выгодно реализовать топливо с высокой теплотворной способностью);

- увеличение КПД оборудования станций, котельных (сжигание древесных отходов с низкой влажностью всегда менее энергоемкое).

- реальная оценка влажности и теплотворной способности позволяет грамотно подобрать оборудование источника теплоснабжения, режимы работы, составить технико-экономическое обоснование инвестиционного проекта.

В данной работе будут проведены лабораторные исследования по определению удельной теплоты сгорания кородревесных отходов и произведен расчет экономической эффективности применения данного метода в рамках действующего предприятия.

#### *Объекты и методы исследования*

Для проведения лабораторных исследований по определению теплотворной способности и влажности кородревесных отходов применены следующие типы приборов:

- шкаф сушильный - SNOL 67/350,
- печь муфельная - SNOL 8,2/1100,
- весы лабораторные - Сартосм СЕ 4202,
- калориметрическая система - PARR 1266,
- лабораторная мельница - RT Precision Technology RT-N04HK.

#### 1. Определение влажности топлива.

Влажность кородревесных отходов определена в соответствии с ГОСТ Р 54186-2010<sup>[1]</sup> сушильно-весовым методом, при котором влажность щепы измеряется косвенным методом, путем взвешивания отборки влажного топлива, высушивания ее до сухого состояния и взвешивания топлива в сухом состоянии. Влажность при данном способе находится как разность между массой влажного и сухого топлива.

Измерения проводились 1 (один) раз в сутки в течение 60 календарных дней (март 2020г., апрель 2020г.) по следующим видам топлива:

- опил, стружка, щепа из древесины хвойных пород,
- кора еловая,
- кора сосновая,
- щепа осиновая,
- щепа березовая.

#### 2. Отбор проб.

Отбор и подготовка проб для определения общей влаги проведен по ГОСТ 33563-2015<sup>[2]</sup> и ГОСТ 33255-2015<sup>[3]</sup>. Пробы доставлялись в лабораторию ТЭЦ в герметичной водо- и воздухопроницаемой таре, масса отобранной пробы - 1800 гр.

3. Определение теплотворной способности кородревесных отходов. Графики зависимости калорийности топлива от его влажности.

Лабораторные исследования по определению теплотворной способности выполнены в соответствии с ГОСТ 33106-2014<sup>[4]</sup> на калориметре бомбовом «PARR 1266» в лаборатории ТЭЦ. В результате обработки экспериментальных данных были составлены графики зависимости удельной теплоты сгорания от влажности различного вида топлива, используемого на предприятии.

Данные по теплотворной способности и влажности кородревесного топлива за период 01 марта 2020г.- 30 апреля 2020г. приведены в таблице 2.1- 2.2.

Графики зависимости теплотворной способности от влажности кородревесного топлива приведены на рис. 1-5.



Таблица 1. Результаты лабораторных исследований на удельную теплоту сгорания и влажность кородревесных отходов за март 2020г.

опил, стружка, щепа из древесины хвойных пород		кора еловая		кора сосновая		щепа осиновая		щепа березовая	
влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг
46,9	2027,55	41,7	1995,63	61,3	1341,23	51,6	1752,93	39,1	2201,55
58,2	1634,88	65,8	1342,85	62,4	1539,74	33,1	2312,45	50,1	1812,46
51,9	1881,69	40,5	2056,41	69,7	1385,41	51,8	1725,46	47,7	1899,13
55,4	1680,33	67,7	1311,96	60,8	1515,21	51,4	1716,58	66,8	1449,32
58,7	1639,15	66,5	1459,20	66,8	1471,13	35,8	2275,41	49,7	1863,93
59,3	1605,66	65,4	1313,48	76,5	1121,31	51,3	1718,45	53,4	1742,89
50,5	1902,87	72,2	1156,89	61,3	1340,48	52,0	1711,31	48,9	1912,26
57,4	1703,47	66,3	1315,84	42,6	2056,58	52,1	1709,58	50,2	1810,22
56,9	1661,59	71,0	1212,56	60,1	1540,69	43,6	1948,24	34,7	2298,74
58,2	1635,97	62,8	1400,15	59,6	1550,25	53,0	1652,16	50,1	1859,19
58,4	1721,25	46,8	1876,12	39,2	2115,65	52,4	1699,16	50,3	1842,27
49,5	1933,69	63,5	1389,63	60,3	1522,47	53,2	1763,32	36,2	2275,23
56,9	1660,01	62,2	1415,62	60,2	1524,17	51,9	1725,97	49,2	1852,94
65,4	1347,98	51,5	1725,63	59,8	1548,36	55,0	1733,66	67,9	1380,65
57,3	1652,98	62,3	1417,22	61,0	1576,98	50,6	1798,41	50,0	1811,66
60,5	1553,55	70,3	1263,79	59,9	1535,79	57,3	1708,96	42,3	2128,11
54,6	1696,52	61,4	1436,28	49,5	1853,63	51,9	1729,51	50,1	1813,42
58,4	1673,69	43,4	1933,65	60,3	1527,51	52,4	1670,48	50,3	1809,19
57,5	1650,22	60,5	1521,23	60,8	1517,49	64,2	1501,39	49,7	1855,47
69,5	1286,69	69,4	1368,74	61,4	1338,58	49,8	1842,62	44,1	2056,47
58,1	1641,95	65,1	1352,48	58,4	1676,48	51,2	1720,59	49,1	1890,17

61,3	1526,13	69,1	1401,69	62,2	1416,85	68,9	1326,87	48,2	1888,63
59,5	1603,27	61,1	1449,52	61,3	1330,15	50,0	1818,63	53,4	1742,89
57,2	1654,39	61,2	1583,60	72,0	1275,36	41,7	2058,12	50,1	1814,61
57,5	1653,68	63,1	1380,65	59,5	1570,63	50,5	1795,45	49,1	1841,58
70,9	1255,64	68,3	1430,12	59,3	1582,19	50,7	1787,97	57,2	1688,23
58,2	1640,21	63,4	1362,47	60,4	1630,10	51,0	1731,88	49,8	1863,52
56,6	1660,34	48,3	1825,36	60,4	1619,48	58,2	1686,96	49,6	1865,49
56,4	1661,28	61,5	1336,20	60,2	1529,99	50,4	1800,51	49,3	1875,15
56,2	1665,74	60,0	1560,36	55,3	1746,89	48,7	1844,79	63,4	1545,69
<b>57,8</b>	<b>1650,41</b>	<b>61,1</b>	<b>1486,5</b>	<b>60,1</b>	<b>1543,4</b>	<b>51,2</b>	<b>1775,59</b>	<b>50,0</b>	<b>1856,37</b>

Таблица 2. Результаты лабораторных исследований на удельную теплоту сгорания и влажность кородревесных отходов за апрель 2020г.

№ п/п	опил, стружка, щепа из древесины хвойных пород		кора еловая		кора сосновая		щепа осиновая		щепа березовая	
	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг
1	44,3	2087,36	65,4	1486,15	41,3	2095,36	51,4	1718,45	32,3	2342,88
2	41,7	2111,15	64,2	1335,68	61,3	1485,67	38,2	2211,89	56,7	1695,47
3	55,5	1673,93	53,0	1712,11	53,1	1785,52	36,9	2252,49	49,7	1848,47
4	53,2	1712,67	64,1	1362,12	58,3	1639,12	50,9	1725,59	37,7	2226,56
5	47,8	2001,79	45,3	1901,25	61,5	1477,21	40,3	2115,63	61,6	1599,36
6	60,0	1525,46	60,0	1622,89	45,8	1952,63	51,2	1734,25	49,3	1845,69
7	58,2	1641,53	60,1	1602,55	59,7	1524,17	51,1	1736,21	41,0	2156,66
8	56,6	1652,38	59,3	1632,59	60,0	1563,89	52,7	1814,23	50,1	1832,54
9	53,7	1817,21	62,7	1357,85	61,1	1493,85	45,1	1913,25	49,6	1826,17

№ п/п	опил, стружка, щепа из древесины хвойных пород		кора еловая		кора сосновая		щепа осиновая		щепа березовая	
	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг	влажность, %	калорийность, ккал/кг
10	59,3	1573,91	55,3	1663,78	60,6	1481,17	52,1	1799,46	50,5	1845,79
11	57,6	1652,89	62,0	1422,46	47,6	1910,00	52,6	1802,13	49,9	1859,13
12	55,0	1796,35	62,1	1418,49	60,5	1481,18	50,4	1795,13	48,0	1899,48
13	54,1	1750,67	54,4	1686,22	60,3	1439,47	47,6	1874,12	46,5	1933,69
14	39,0	2198,74	60,7	1501,65	65,0	1498,74	49,9	1858,13	50,1	1834,25
15	55,6	1718,81	59,7	1518,96	61,1	1420,95	50,3	1720,59	49,5	1881,74
16	57,6	1772,37	60,5	1536,58	60,3	1425,87	50,1	1725,46	51,3	1784,37
17	55,9	1784,32	61,9	1412,87	56,9	1701,36	59,4	1648,12	50,5	1851,47
18	67,1	1302,58	60,4	1527,61	60,4	1441,15	52,3	1798,52	43,1	2107,25
19	55,0	1706,21	57,4	1639,28	51,9	1801,45	51,4	1798,25	48,6	1882,45
20	63,9	1436,98	62,0	1425,37	61,0	1398,13	62,7	1603,85	55,6	1706,31
21	53,7	1751,66	64,4	1495,30	60,7	1628,45	51,1	1769,21	49,3	1878,45
22	53,0	1722,29	62,1	1564,13	63,6	1505,11	50,0	1780,13	50,5	1799,58
23	48,9	1971,12	59,7	1557,26	75,1	1186,35	42,5	2002,36	59,4	1655,44
24	53,3	1712,61	61,0	1503,46	60,7	1451,84	69,9	1226,87	49,5	1884,54
25	62,0	1480,33	62,5	1369,31	67,5	1413,22	50,7	1746,29	50,6	1800,45
26	55,5	1769,12	63,3	1538,12	60,2	1512,47	66,8	1420,19	64,2	1513,69
27	73,0	1238,54	62,9	1369,15	59,9	1550,21	51,0	1761,15	49,5	1881,25
28	55,8	1752,89	62,4	1401,87	58,3	1599,12	50,3	1766,58	66,4	1498,46
29	56,2	1748,96	63,0	1362,58	70,9	1328,69	61,0	1601,55	49,4	1882,47
30	52,7	1850,12	59,9	1534,29	60,9	1500,47	50,0	1750,89	45,0	1984,12
	<b>55,2</b>	<b>1730,5</b>	<b>60,4</b>	<b>1515,40</b>	<b>59,5</b>	<b>1556,43</b>	<b>51,33</b>	<b>1782,37</b>	<b>50,18</b>	<b>1857,94</b>

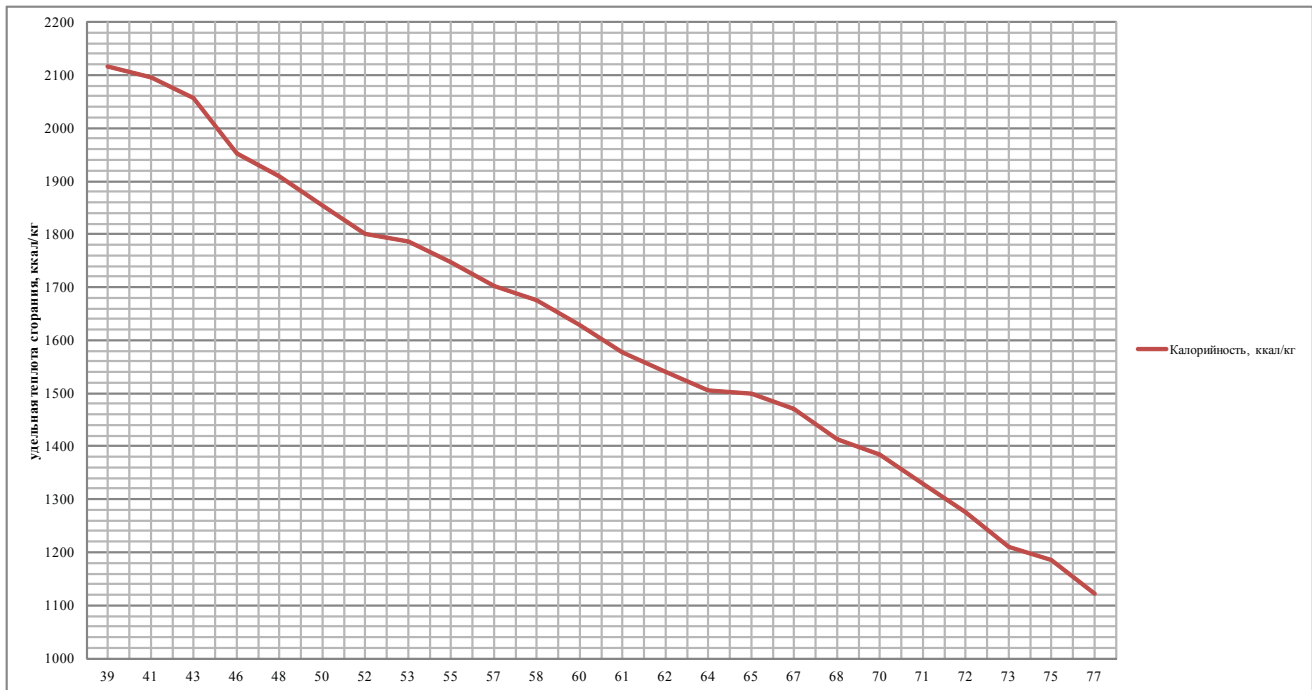


Рис. 1 «График зависимости удельной теплоты сгорания коры сосновой от влажности»

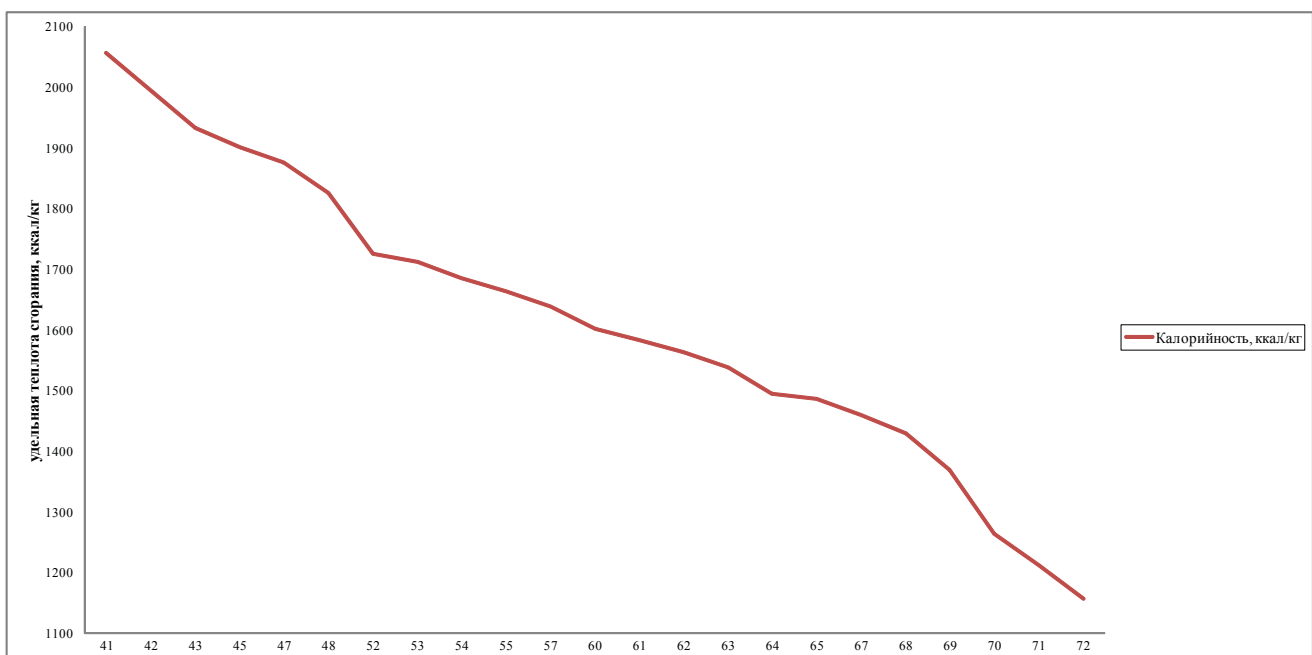


Рис. 2 «График зависимости удельной теплоты сгорания коры еловой от влажности»



Рис. 3 «График зависимости удельной теплоты сгорания щепы осиновой от влажности»

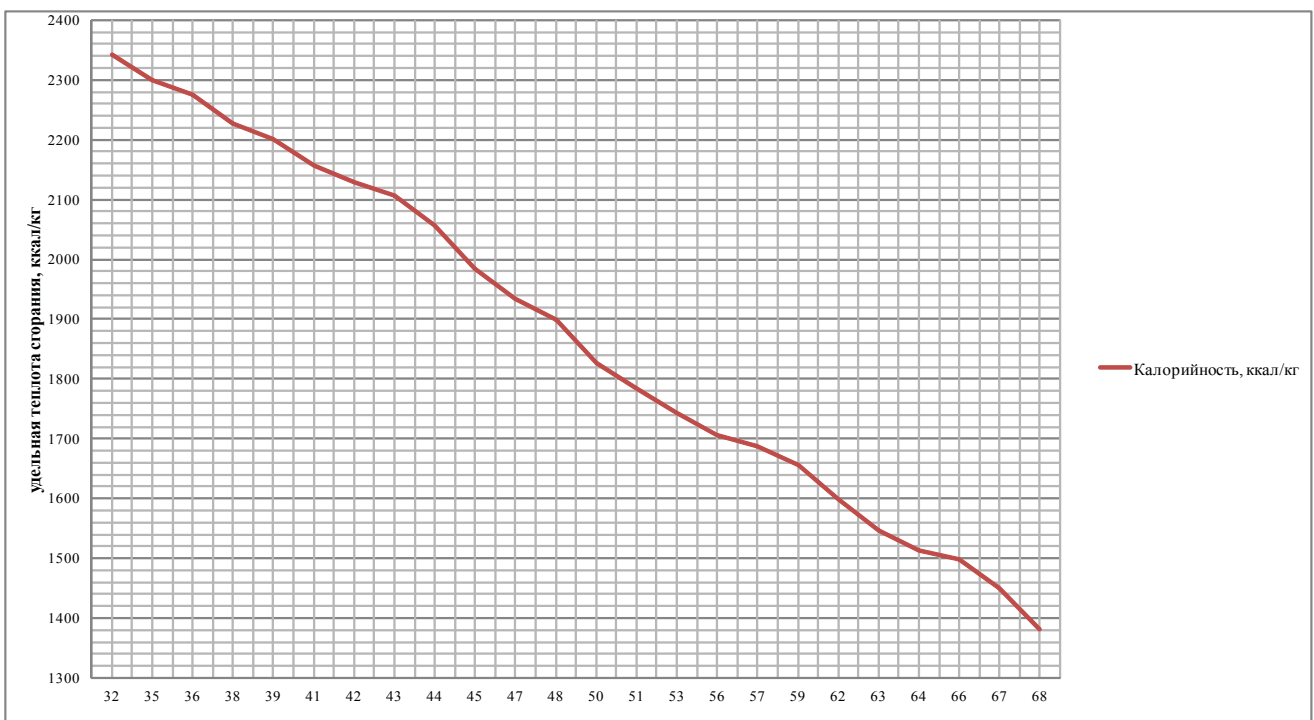


Рис. 4 «График зависимости удельной теплоты сгорания щепы березовой от влажности»

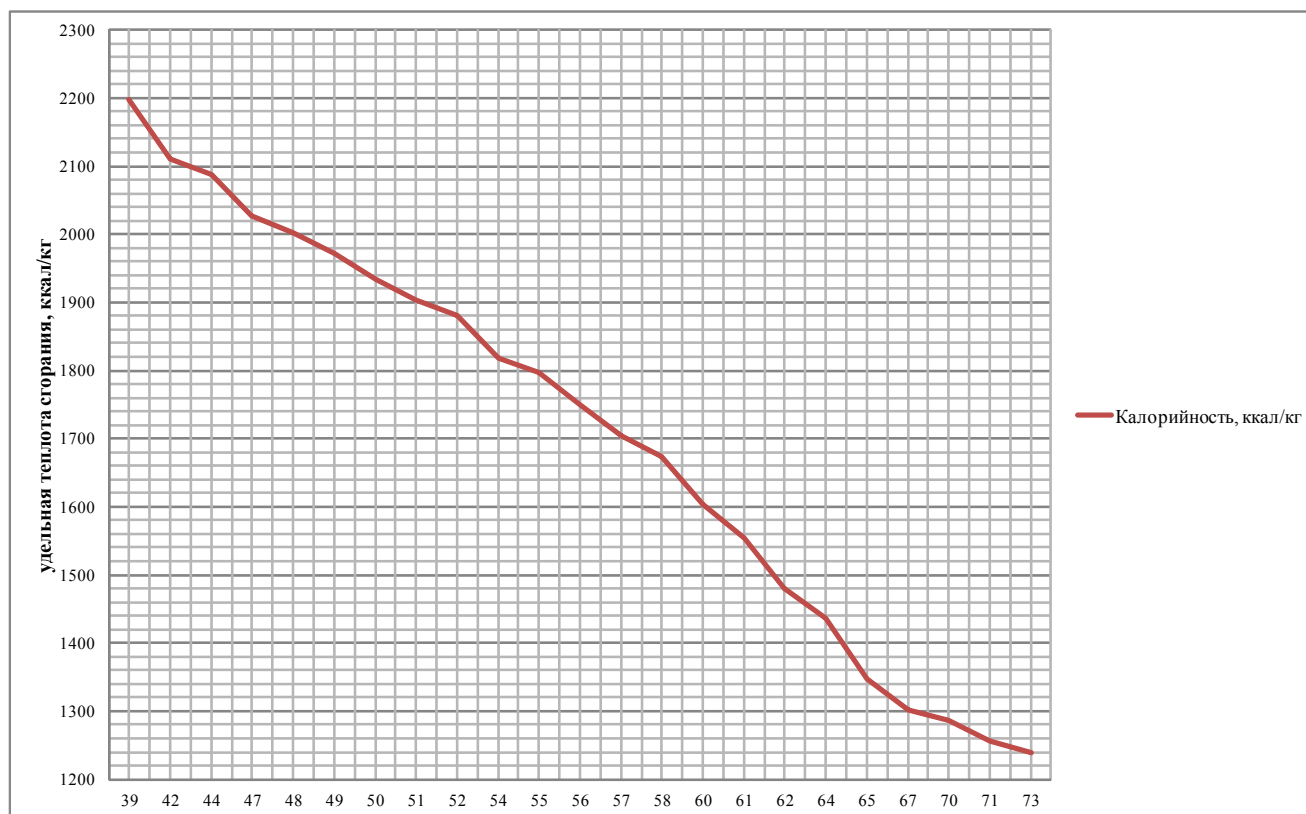


Рис. 5 «График зависимости удельной теплоты сгорания опила, стружки, щепы из древесины хвойных пород от влажности»

Обществом в течение 2019 года ежедневно производился анализ влажности по каждому отдельному виду топлива. Усреднив данные и используя полученную зависимость тепло-

творной способности топлива от влажности, произведен расчет использованного количества энергии топлива в производстве. Результаты сведены в таблицу 3:

Таблица 3. Расчет энергии использованного в производстве топлива

№ п/п	Наименование	Объем, пл.куб.м.	Масса, т	Средняя влажность, %	Средняя калорийность, ккал/кг	ИТОГО, Гкал
1	опил, стружка, щепы из древесины хвойных пород	63 066.6	50 453.3	50.3	1 934	97 576.6
2	кора еловая	39 301.5	31 441.2	61.3	1 580	49 677.1
3	кора сосновая	6 005.1	4 804.1	59.7	1 628	7 821.0
4	щепы осиновая	20 594.0	16 475.2	46.4	1 889	31 121.7
5	щепы березовая	5 484.2	4 387.4	45.1	1 984	8 704.5
6	ВСЕГО	134 451.4	107 561.1			194 901.0

В связи с тем, что приемка топлива производится объемным методом (без весовых замеров), для расчета массы

топлива используется таблица зависимости плотности древесины от влажности.

Таблица 4. Зависимость плотности древесины от влажности, кг/пл.куб.м

№	Порода дерева	Процент влажности, %									
		15	20	25	30	40	50	60	70	80	100
1	Ель обыкновенная	450	460	470	490	520	560	600	640	670	750
2	Сосна обыкновенная	510	520	540	550	590	640	680	720	760	850
3	Береза	640	650	670	680	730	790	840	890	940	1050
4	Осина	500	510	530	540	580	620	660	710	750	830

Затраты на топливо за 2019 год составили 54 858,2 тыс. руб., средняя цена за плотный кубический метр составила 408,0 руб./пл.куб.м. Используя данные таблицы 3, получена средняя цена 1 Гкал энергии поставленного топлива 388,7 руб./Гкал. (334,2 руб./МВтч).

Достаточно интересен тот факт, что средневропейская цена приобретения 1 МВтч древесного топлива составляет 20 евро, что объясняется высокой стоимостью начального сырья, значительными логистическими затратами.

Исходя из проведенных исследований выведен следующий алгоритм расчета стоимости топлива:

1. При поступлении топлива на склад производится приемка по объемным характеристикам транспорта.

2. После полной выгрузки партии топлива происходит взятие пробы не менее чем в трех точках, проба подписывается и направляется на определение влажности.

3. В лаборатории ТЭЦ определяется влажность каждой партии топлива, по графикам зависимости теплотворной способности от влажности определяется калорийность топлива.

4. Производится расчет стоимости поставки партии топлива по формуле:

$$S = V \times p \times q \times c \times 10^{-3}, \text{ где}$$

$S$  – стоимость партии топлива, руб.;

$V$  – объем партии топлива, пл.куб.м.;

$p$  – плотность поставленного вида топлива, тонн/пл.куб.м.;

$q$  – низшая теплотворная способность, ккал/кг;

$c$  – цена 1 Гкал энергии топлива.

Данный алгоритм расчета стоимости топлива позволяет осуществить приемку топлива в энергетических показателях, а не в объемных. Например, одинаковый объем опила с разной влажностью будет иметь разную стоимость, что стимулирует поставщиков топлива сохранять высокое качество топлива, что, несомненно, положительно влияет на технологический процесс горения топлива в котлах.

Для повышения точности расчетов необходимо увеличить объем проведенных анализов. Приемка топлива весовым контролем с автоматическим отбором проб позволит снизить разногласия между поставщиком и потребителем. Данные системы уже разработаны и находятся в эксплуатации в европейских странах, например, система финской компании «Prometes».

## Библиография

- ГОСТ Р 54186-2010 Биотопливо твердое. Определение содержания влаги высушиванием. Часть 1. Общая влага. Стандартный метод.
- ГОСТ 33563-2015 Биотопливо твердое. Отбор проб.
- ГОСТ 33255-2015 Биотопливо твердое. Методы подготовки проб (Переиздание).
- ГОСТ 33106-2014 Биотопливо твердое. Определение теплоты сгорания.
- Воробьев Л.И., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. Бомбовые калориметры для определения теплоты сгорания топлива // Инж.-физ. журн. 1997. Т. 70, № 5.
- Ю.В. Максимук, Д.А. Пономарев, В.Н. Курсевич, В.В. Фесько. Теплота сгорания древесного топлива // Лесной журн. 2017г., №4.
- Максимук Ю.В., Фесько В.В., Васаренко И.В., Дубовик В.Г. Метрологическое обеспечение измерений теплоты сгорания твердых и жидких топлив // Приборы и методы измерений. 2014. № 2(9).

8. Головков С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. // Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесн. пром-сть, 1987.

### References (transliterated)

1. GOST R 54186-2010 Biotoplivo tverdoe. Opredelenie sodержaniya vlagi vysushivaniem. Chast' 1. Obshchaya vlaga. Standartnyj metod.
2. GOST 33563-2015 Biotoplivo tverdoe. Otbor prob.
3. GOST 33255-2015 Biotoplivo tverdoe. Metody podgotovki prob (Pereizdanie).
4. GOST 33106-2014 Biotoplivo tverdoe. Opredelenie teploty sgoraniya.
5. Vorob'ev L.I., Grishchenko T.G., Dekusha L.V. Bombovye kalorimetry dlya opredeleniya teploty sgoraniya topliva // Inzh.-fiz. zhurn. 1997. T. 70, № 5.
6. Yu.V. Maksimuk, D.A. Ponomarev, V.N. Kursevich, V.V. Fes'ko. Teplota sgoraniya drevesnogo topliva // Lesnoj zhurn. 2017g., №4.
7. Maksimuk Yu.V., Fes'ko V.V., Vasarenko I.V., Dubovik V.G. Metrologicheskoe obespechenie izmerenij teploty sgoraniya tverdyh i zhidkih topliv // Pribory i metody izmerenij. 2014. № 2(9).
8. Golovkov S.I., Koperin I.F., Najdenov V.I. // Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnyh othodov. М.: Лесн. пром-ст', 1987.

© Д.А. Павликов, М.С. Шишин, 2020



**Ссылка на статью:** Павликов Д.А., Шишин М.С. - Способы повышения энергоемкости кородре-весных отходов с учетом зависимости теплоты сгорания от влажности // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №1. – С. 30-40. DOI: 10.36616/2687-1335-2020-1-30-40 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-1/articles?View&page=30>



УДК 621.314.015

Дата направления в редакцию: 05-04-2020

Дата рецензирования: 06-04-2020

Дата публикации: 20-06-2020

**Шихалиева Саадат Яшар**

*Азербайджанский Государственный Университет  
Нефти и Промышленности  
г. Баку, Азербайджан  
saadaasmar@mail.ru*

**Shikhaliyeva Saadat Yashar**

*Azerbaijan State University  
of Oil and the Industry  
Baku, Azerbaijan  
saadaasmar@mail.ru*

## ДВУХРОТОРНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОМОТОР С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

### TWO-ROTOR ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR WITH SPEED CONTROL

**Аннотация (на рус).** В статье приведена информация о регулировании двухроторной асинхронной машины, принципах ее работы и конструктивных особенностях. Вкратце проанализированы проблемы, связанные с температурой нагрева, охлаждением и крутящим моментом машины. Демонстрированы некоторые преимущества по сравнению с другими машинами с частотным регулированием вращения.

**Abstract (in Eng).** In this article it is provided the information about the regulating of a two rotor asynchronous machine, its operating principles and constructive features. The heating temperature, cooling and torque problems of the machine are briefly analyzed. Some advantages over the other rotation frequency regulated machines are demonstrated.

**Ключевые слова:** частота вращения, регулирование, рабочий ротор, активное сопротивление, ротор короткого замыкания, изоляция канавок, скольжение.

**Keywords:** rotation frequency, regulating, working rotor, active resistance, short-circuit rotor, groove insulation, sliding.

#### INTRODUCTION

With progression of the electrical machines it becomes hard to achieve economy of materials in given level of the energetic characteristics. The improvement of the electro technical characteristics of steel, increasing of the filling coefficient of the groove with copper, increasing the heat resistance of the insulation and rational choice of the active parts geometry have already been exhausted. In these conditions the cooling intensity demand is increasing. It is mainly related to the machine IP44 with parametrical regulation of the rotation frequency where at low rotation frequency the amount of energy losses is increasing several times.

With the increasing of the regulation range (on machines with the with regulating the rotation frequency), the volume of the cooling air rapidly decreasing due to the reducing ventilation efficiency. These factors require to reduce the torque of the machines shafts which leads to increasing of the specific weight of the used materials. If engineering the ventilation for the low rotation frequency, then at further increasing regulation range it will

have very low cooling efficiency at low rotation frequency.

When producing the motors with this aim it should solve the problems of matching electromagnetic parameters with controlling devices parameters such as voltage stability of transducer and allowed limits of overload; regulating range; the choice of the engine capacity; defining additional loading; additional losses and torque and est. [1]. With other output parameters it should be provided acceptable torque and adequately acceptable heating temperature.

#### FORMULATION OF THE PROBLEMS

This article provides analytical study of the regulating asynchronous motors, a calculation of the allowable torque with the heating condition, some information about the construction of the engine capable regulation of the rotation frequency in wide range and the analyzes of the heating process by the taking on account the temperature limits.

For the achieving solution of the mentioned problems it is suggested the following machine - the asynchronous motor enclosed type with

parametric regulation of the rotation frequency. The motor is comprising enclosure, stator, main and additional rotors, ventilator installed on the additional rotor (be noted that the main and additional rotors positioned coaxially). The additional rotor is simple short-circuited rotor designed for the ventilation system with magnetic conductor from the steel plates and the winding from the casted aluminum. The working rotor also is made from the electro technical steel plates with the winding from the casted copper with the different short-circuited rings - from the side of the additional rotor the rings is from copper, from the opposite side the rings from the highly resistant metal.

For increasing the technical -economical parameters with keeping the large capacity of the torque at low rotation frequency i.e. for the increasing rage of the rotor frequency regulation it suggested the engine with design described in this article.

The design of the engine comprises the coaxially positioned working and additional rotors with the common stator of the ordinary asynchronous engine (Figure 1).

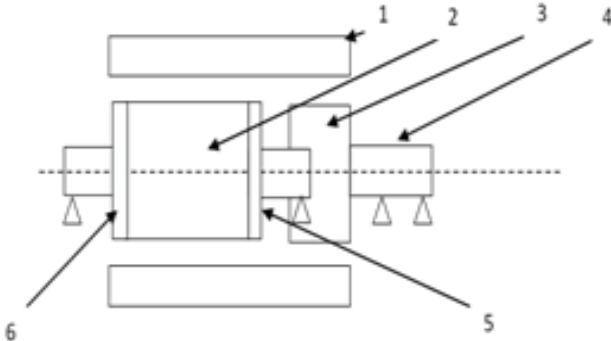


Figure 1. The motor construction scheme

1-stator ; 2- working rotor; 3- additional rotor; 4- shaft; 5- short circuit ring

The torque created by working rotor depends from the rotor frequency, parameters of the ventilator, from the number of the coils of the stator winding and the load current of the motor stator. All mentioned parameters and values needs be adapted in such way that in every mode of the motor running the actual frequency of the working rotor to be maximum close to its required frequency [2].

The working and additional rotors are rotating differently. There is bonding bearing between the working and the additional rotors. The additional

rotor fixed with the bearing box and the bearing built into cover of the external venting fan. The additional rotor like the rotor of ordinary asynchronous machines designed in such way that change of the voltage on the stator winding does not affect significantly rotor frequency, it rotates the fan of internal circulation and external ventilation blowing fan which has normal cooling even at low rotation frequency of the working rotor.

### SOLUTION OF THE PROBLEMS

In asynchronous machine IP44 type almost all losses  $\Sigma\Delta P$  transmitting to atmosphere through the motor frame. The temperature on the surface of the frame is defining by these losses [3]:

$$\theta_f = \frac{\Sigma\Delta P}{S_{cool}a_f} \quad (1)$$

$S_{cool}$  - the surface of the cooling frame;  $\bar{\sigma}_f$  - coefficient of the frame surface heat transferring;  $\theta_f$  - temperature of the frame surface.

The total losses in the machine  $\Delta P$  consist of electrical losses in the winding of stator  $\Delta P_1$  and rotor  $\Delta P_2$ . During regulation, due to significant increasing of electrical losses, the losses in the steel of stator can be ignored (when induction reduces they are decreasing abruptly) and mechanical losses can be ignored (except the ventilation losses).

With counting additional losses, the total losses in the machine:

$$\Sigma\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_{2w} + \Delta P_{2A} + \Delta P_{swr} + \Delta P_{add} + \Delta P_v \quad (2)$$

Where  $\Delta P_1$  - the electrical losses in the winding of the stator;  $\Delta P_{2w}$  - the electrical losses in the working rotor;  $\Delta P_{2A}$  - electrical losses in the additional rotor;  $\Delta P_{swr}$  - losses in the steel of working rotor;  $\Delta P_{add}$  - total additional losses in the machine;  $\Delta P_v$  - ventilation losses.

For evaluation of the heat mode of the motor the equation (2) can be written the following way:

$$\Sigma\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (3)$$

Here

$\Sigma\Delta P_2 = \Delta P_2 + \Delta P_{swr}$  - electrical and magnetic losses working rotor;

$\Sigma\Delta P_3 = \Delta P_{2A} + \Delta P_v$  - electrical losses of the

additional rotor in ventilation.

The losses in the rotors due to defined value of the torques ( $M_w, M_A$ ) and range of regulation.

$$\Delta P = M_w \cdot S_{\max.w} \cdot \varpi_w \quad (4)$$

$$\Delta P = M_A \cdot S_{\max.A} \cdot \varpi_A \quad (5)$$

where  $S_{\max.w}, S_{\max.A}$  – the maximum sliding of the working and additional rotors relevantly;  $\omega_w, \omega_A$  – the angle frequency of rotating rotors;  $M_w, M_A$  – torques of the rotor shafts.

Usually the temperature mode of the motor is limited by the allowable temperature of the stator winding, depending from the applied insulation heat-resistance class. For the normal asynchronous motors in practice the temperature mode is defined by heating the surface of the frame  $\theta_f$ . Its value for the normal motor does not exceed 40÷50°C.

Heating of the stator winding is

$$\theta_{win} = \theta_f + \theta_s + \theta_i \quad (6)$$

Where the  $\theta_f$  – the temperature on the surface of motor frame (1);  $\theta_s$  – the drop of the temperature in the steel;  $\theta_i$  – the drop of the temperature in the insulation.

In some cases, during the heat calculation, drop of the temperature in the stator steel can be ignored, but during precise calculation then needs to calculate it as well, because there are cases when that drop reaches the value 10 - 15°C; drop of the temperature in insulation is usually within 20 - 30°C.

Based on these analyses for the insulation with the heating resistance class - F at  $\theta_{win} = 100^{\circ}C$  we will have  $\theta_f = 35^{\circ} - 60^{\circ}C$ , but for the insulation with resistance class - F at

$$\theta_{win} = 75^{\circ}C, \theta_f = 30^{\circ} - 40^{\circ}C \quad [3].$$

Conducting experimental research on the motors enclosed types with the height of the rotation axis 132 and 160 mm showed that they have  $\theta_f = 65^{\circ} - 75^{\circ}C$ .

The torque is equal:

$$M = \frac{\Delta P_2}{\Omega_1 S_{\max}} \quad (7)$$

We are multiplying and dividing the torque by  $\Sigma \Delta P$

$$M = \frac{\Delta P_2 S_{cool} a_f \theta_f}{\Omega_1 (\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_{add})} = \frac{S_{cool} a_f \theta_f}{\Omega_1 S_{\max} (1 + \Delta P_1 / \Delta P_2 + \Delta P_{add})} \quad (8)$$

If  $\Delta P_{add}$  is ignored then

$$M = \frac{S_{cool} a_f \theta_f}{\Omega_1 S_{\max} (1 + \Delta P_1 / \Delta P_2)} \quad (9)$$

The formula (9) shows that with defined  $a_f, S_{cool}, \theta_f, S_{\max}$  by changing the ratio of loss between stator and rotor it is possible to significantly increase allowable value of load torque.

On the ordinary motors for achieving high efficiency it is taken  $\Delta P_1 \approx \Delta P_2$ , sometimes  $\Delta P_1 > \Delta P_2$  in case of the regulating motors the value of efficiency does not defining factor, that is why it is possible and needs to change this ratio so that  $\Delta P_1 / \Delta P_2 < 1$ .

Obtained formula (9) allows to calculate the torque with acceptable heat on parametrical regulating asynchronous motors enclosed types. When  $\Delta P_1 / \Delta P_2 < 1$  then it needs to greatly decrease the torque on motor shaft which decreases the techno-economical indications. Part of the losses  $\Delta P_2$  gets through the air gap into the stator pack and heating the winding insulation: for the normalizing the heat mode it is necessary to decrease the torque on the shaft.

In the studied model the heating process proceeds other way; for reducing the impact of the rotor temperature to the heat mode of stator it was created cooling channels, through which the cooling air flow through the internal cavities of the working and additional rotors gives advantage to reduce significantly the impact of the rotor temperature to the stator winding. Just the acceptable insulation temperature of the stator winding is the main barrier which regulates the torque on the motor shaft.

Let study the heat flow of the accepted motor construction (it is considered that the heat flow gets through the steel of the stator pack).

All types of the losses included in the equation (2) becomes heat flow directed to the frame side where it is dissipating to atmosphere. On the pic-

ture 2 it is shown the heat flow pass. As the stator of the motor with parametric regulated motor is the element of the normal asynchronous engine the winding of the stator is overloading by heat flow which comes into the stator pack through the air gap increasing the winding temperature defined by the equation (6). Due to the small gap between stator and rotor packs the stator exposes to the considerable heat  $Q_{main\ air\ flow}$  (Figure 2a). Herewith the main portion of the rotor heat flow passes to stator pack through the air gap, not significant portion - into the internal void  $Q_{in\ cav.}$  which are transferring through the bearings to frame, pass of this flow becomes difficult due to emitting of heat in the bearings.

Heat flow  $Q_{air\ flow}$  is heating the winding wires and insulation as well as the stator iron. Eventually, the flows  $Q_1$ ,  $Q_2$  and  $Q_3$  becomes the main heat load for the insulation of the stator winding.

To avoid this, it is necessary to reduce the torque on the shaft of the machine that leads to increasing the overall dimensions and material consumption. Also, the range of the regulation is decreasing at the defined torque.

In studied model some modifications (ventilation channels in both rotors, rotor winding from copper, magnetic conductor from the electro-technical iron) change the heat flows spreading (Figure 2b) which significantly improves working regime.

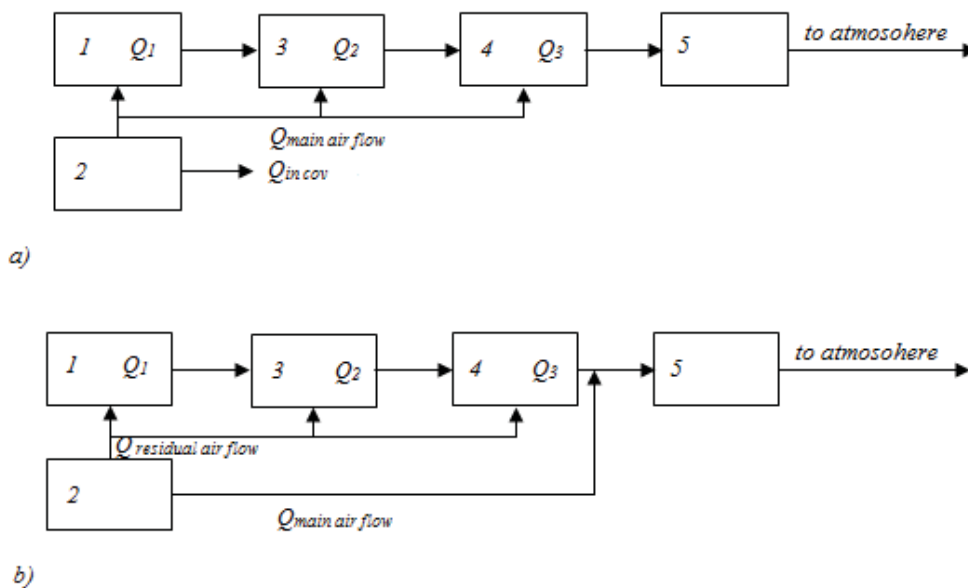


Figure 2. The heat scheme of ordinary serial asynchronous motor and the developed construction: a - ordinary motor; b - the motor with two coaxially located rotors and internal ventilation channels; 1 - Stator winding; 2 - working and additional rotor; 3 - slot insulation; 4 - stator core (stator iron); 5- iron-frame

First, creation of the ways for the heat flows through the internal cavities coaxial located rotors significantly reduces the temperature, which restrain transfer of the heat power through the air gap to the stator. Second, in the ordinary motor (Figure 2a) the large portion of the heat was passing into the stator. In the developed model (Figure 2b) the large portion of the heat is passing into the iron-frame through the ventilation channels in the rotors cavities, the small part of the heat is passing through the stator pack, all of this increasing the range of the regulation.

Heating of all elements of this design is associated with power losses in the machine [3].

We can consider the followings: the volume of energy consumption for cooling is mechanical energy. The energy losses due to the movement of the cooling volume in the channels are divided into circulation losses and friction losses on rotating surfaces. The friction loss (in kilowatts) from the rotation of cylindrical surfaces is determined by the following equation:

$$\Delta P_f = 3 \cdot 3 \cdot \left( \frac{n}{300} \right)^3 \cdot D^4 \cdot L \quad (10)$$

Where in  $D$  - the diameters of the working and auxiliary rotors,  $L$  - the lengths of two rotors in

sum, meter;  $n$  - rotational speed, rev./min.

The losses due to the rotation of the lateral sides of the rotors are calculated with the following equation:

$$\Delta P_i = 2C_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{n^2 \cdot R^5}{0,88} \cdot 10^{-4} \quad (11)$$

Where  $R$  is the outer diameter of the rotors,  $c$  - air density,  $C_r$  is the coefficient of the moment of resistance, which is calculated depending on the driving mode, volume and geometrical dimensions of the machine.

If the engine being designed has a speed regulation in a wide range, then in this case the chosen ventilation system must fully meet the regime requirements. This means that with decreasing speed below the highest frequency ventilation system should be active. In commercial asynchronous motors, when the rotational speed drops below asynchronous speed, the activity of the ventilation system decreases sharply. This is due to air supply is strongly dependent on the rotational speed. For this reason, as the speed decreases, the temperature increases and the load on the shaft must be reduced, otherwise the temperature of the winding insulation will be higher than the permissible value, which will lead to engine failure. This means that the engine utilization rate will decrease.

In the design of the engine, this question is advantageous for economic reasons. The placement of an additional rotor in the stator zone greatly facilitates this issue; the rotational speed is regulated with adjusting of voltage applied to the stator winding. An additional rotor connected to both fans, even at low voltages, rotates at an asynchronous speed. Therefore, regardless of the main rotor speed ventilation system provides the required cooling medium with the cooled air

volume. This means that even at low speeds the electrical machine is used at a high level. Economic efficiency in this case decreases, therefore in a certain expenditure time capital and operating costs are taken into account.

## CONCLUSION

The conducted analytical studies of asynchronous motors with parametrical regulating of current showed the following:

1. By removing the active resistance from the working rotor mass and leaving it in electrical scheme gives the opportunity to greatly decrease the heat flow getting through the stator winding insulation.

2. The studied design for the asynchronous motor with regulating rotation frequency gives opportunity to increase power and regulation range, decreases the consumption materials in compare with the ordinary motors.

3. Creation of construction scheme of the heat flow gives opportunity to propose (imagine) the heat processes in asynchronous two rotors motors with parametrical regulation

4. The gained data from the study allows to define the approximate dependency between torque on the main shaft and the range of the regulation. Defining the volume of the losses in the rotors and passing some volume of the heat flow in stator requires the precise calculation on base of methods and laws of the heat transferring.

5. The developed construction of asynchronous motor allows to regulate the frequency of the working rotor in wide range by change of the voltage on the stator winding.

6. The additional rotor maintain heat regime especially at low frequency of working rotor. When the voltage decreases the frequency of the cooling fan does not changes, the cooling process normally continues.

## References

- [1] Musayev Z.N. Asynchronous electric motor – 1983., Az. SSR No. 1026242.
- [2] Vlasov V.G, Ivanov V.A, Timofeenko L.I. The Explosion-proof, thyristor electric drive of alternating current a– Moscow. Energy Publ., 1997.
- [3] Kopylov I.N., Goryaninova F.I. Klokov B.K and other. Designing of electrical machines – M., Energy, 1980.

*S. Y. Shikhaliyeva, 2020*



**Ссылка на статью:** Shikhaliyeva S.Y. - Two rotor asynchronous electro motor with rotation frequency regulation // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №1. – С. 41-45. DOI: 10.36616/2687-1335-2020-1-41-45 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-1/articles?View&page=41>

УДК 620.91

Дата направления в редакцию: 06-04-2020

Дата рецензирования: 07-04-2020

Дата публикации: 20-06-2020

**Набиуллин Динар Ильдарович**

*Студент Института  
электроэнергетики и электротехники,  
Казанский государственный  
энергетический университет,  
E-mail: dinar91121@mail.ru*

**Nabiullin Dinar Ildarovich**

*Student of the Institute of  
Electric Power and Electrical Engineering  
Kazan State  
Power Engineering University  
E-mail: dinar91121@mail.ru*

**Целовальникова Дарья Львовна**

*Студент Института  
электроэнергетики и электротехники,  
Казанский государственный  
энергетический университет,  
E-mail: dl\_c@mail.ru*

**Tselovalnikova Daria Lvovna**

*Student of the Institute of  
Electric Power and Electrical Engineering,  
Kazan State  
Power Engineering University,  
E-mail: dl\_c@mail.ru*

**Вилданов Рустем Ренатович**

*Кандидат технических наук,  
доцент кафедры ТЭС,  
Казанский государственный энергетический,  
E-mail: rustrenat@gmail.com*

**Vildanov Rustem Renatovich**

*Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor  
of the Department of Thermal power stations  
Kazan State Power Engineering University  
E-mail: rustrenat@gmail.com*

## КОСМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИКА SPACE-BASED SOLAR POWER

**Аннотация (на рус).** Концепция генерации солнечной энергии в космосе для беспроводной передачи на приемники к земле и МКС обсуждалась довольно долго в течение последних трех десятилетий. Из-за технологической и экономической неосуществимости начала 1980 годов, проект стал постепенно сворачиваться. Но с развитием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, резкого скачка на потребление электроэнергии, а также роста космического туризма данная концепция стала приобретать все больше доводов в пользу реализации таких проектов через несколько десятков лет.

**Abstract (in Eng).** The concept of generating solar energy in space for wireless transmission to receivers to the earth and the ISS has been discussed for quite some time over the past three decades. Due to the technological and economic impracticability of the early 1980s, the project began to be phased out. But with the development of non-traditional and renewable energy sources, a sharp jump in electricity consumption, as well as the growth of space tourism, this concept began to acquire more and more arguments in favor of implementing such projects after several decades.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, космос, передача электроэнергии.

**Keywords:** solar energy, space, electricity transmission.

Солнечная космическая энергетика - вид альтернативной энергетики, предусматривающий использование энергии Солнца, для выработки электроэнергии, с расположением энергетической станции на геостационарной орбите Земли.

Космические солнечные электростанции (SPS) - это крупные космические структуры, которые преобразуют солнечную энергию, улавливаемую солнечным излучением, в форму энергии, где передается беспроводным способом на любую удаленную приемную станцию. Этот приемник может находиться

либо на Земле, либо на высотной платформе (самолете), на другом космическом корабле или даже на поверхности Луны или других планетах. Первоначальная идея возникла в 1970-х годах чешско-американским инженером доктором Питером Глейзером, и с тех пор были проведены различные исследования. Эти исследования привели к большому разнообразию концепций, в которых используются различные формы принципов производства, преобразования и передачи энергии.

Схема технологии.

Система предполагает наличие аппарата-

излучателя, находящегося на геостационарной орбите. Предполагается преобразовывать солнечную энергию в форму, удобную для передачи (СВЧ, лазерное излучение), и передавать на поверхность в «концентрированном» виде. В этом случае на поверхности необходимо наличие «приёмника», воспринимающего эту энергию.

Космический спутник по сбору солнечной энергии по существу состоит из трех частей:

1) средства сбора солнечной энергии в космическом пространстве, например, через солнечные батареи;

2) средства передачи энергии на землю, например, через СВЧ-излучение или лазерные аппараты;

Преимущества передачи лазерного луча.

Не мешает ТВ, радио, Wi-Fi, сотовому телефону и другим коммуникационным сигналам.

Требуется меньшее передающее и принимающее оборудование, по сравнению с микроволновой передачей (например, для установки мощностью 1 ГВт потребуется передающая оптика диаметром около одного метра и наземный приемник шириной в несколько сотен метров).

Недостатки передачи лазерного луча.

Страдает от атмосферных потерь из-за факторов окружающей среды, таких как, дождь и облака, и, следовательно, не может обеспечить непрерывную мощность

Имеет низкую эффективность преобразования.

Может потребоваться огромные системы хранения аккумуляторов на земле.

Несет в себе риск причинения вреда коже и глазу, если с ним плохо справиться.

Преимущества микроволновой беспроводной передачи энергии.

Преимущества от высокоразвитой микроволновой технологии, способной достигать эффективности до 85%.

Достигает более низкого атмосферного ослабления.

Недостатки микроволновой беспроводной передачи энергии.

Требуется управление потерей энергии при преобразовании постоянного тока в микроволны.

Может вызывать радиочастотные помехи.

Требуется большое передающее и приемное оборудование.

Каждый из двух методов беспроводной передачи энергии, на основе микроволнового и лазерного излучения, имеет свои преимущества и недостатки. В попытке разработать оптимальную систему, некоторыми исследователями был рассмотрен гибридный подход.

В такой системе лазер передавал бы энергию от солнечной батареи на базовую станцию на орбите (платформу фотоэлектрической батареи). Базовая станция будет преобразовывать энергию от лазера в электричество, а затем в микроволновое излучение, которое передается на приемную станцию на Земле. Таким образом, лазерный луч используется там, где он не испытывает значительного ослабления из атмосферы, а затем передача изменяется на микроволновое излучение, которое в гораздо меньшей степени подвержено атмосферному ослаблению.

3) средства получения энергии на земле, например, через ректенны;

Космический аппарат будет находиться на геостационарной орбите, таким образом, ему не нужно будет поддерживать себя против силы тяжести. Он также не нуждается в защите от наземного ветра или погоды, но будет иметь дело с космическими опасностями, такими как, микрометеориты и солнечные бури.

Актуальность в наши дни.

В связи с энергетическим кризисом 1970 годов правительство США выделило миллионы долларов космическому агентству NASA для расчёта целесообразности данного проекта. Технико-экономический расчет показал, что для реализации космической солнечной электростанции мощностью 5000 мегаватт, после передачи на землю энергии и после всех потерь оставалось бы 2000 мегаватт.

На 1975 год примерная стоимость такого проекта оценивалось в триллион долларов. Спустя почти 50 лет, со времени появления идеи, солнечные батареи сильно упали в цене и увеличились в производительности, а грузы на орбиту стало доставлять дешевле, данный проект стал приобретать все больше и больше любопытства среди аэрокосмических агентств США, Китая и Японии.

Преимущества системы.

1) Одним из основных преимуществ сол-

нечной электростанции является непрерывное производство электроэнергии. В отличие от дневного и ночного цикла солнечных батарей на Земле, солнечная электростанция на геостационарной орбите (35786 км над землей) будет постоянно ориентироваться на Солнце, и обеспечивать постоянный выход во времени.

2) Солнечное излучение за пределами атмосферы Земли значительно выше, чем на Земле, ввиду загазованности атмосферы.

3) Большим преимуществом является беспроводная передача энергии в любую точку планеты. Это устранил требования крупномасштабной электрической сети и позволит динамически распределять электроэнергию в регионах, где это требуется.

4) Ровное геополитическое игровое поле, на котором энергия равномерно собирается и распределяется всеми участвующими странами.

5) В космосе нет проблемы с весом или коррозии металлов из-за отсутствия атмосферы.

#### Недостатки системы

1) Очевидно, что одной из главных проблем для любого космического спутника солнечной энергии является строительство больших структур на орбите. Мало того, что это требует значительных количеств материала для запуска в космос, эти материалы должны быть собраны, поддержаны и, возможно, заменены с течением времени.

2) Второе осложнение связано с беспроводной передачей энергии на поверхность Земли, которая требует передачи с помощью

электромагнитных волн или лазеров при высокой эффективности передачи. Чтобы оставаться ниже пределов безопасности, для этого потребуются приемные антенны (ректенны).

3) Космический мусор представляет собой серьезную опасность для крупных объектов в космосе, особенно для крупных конструкций.

4) Большие инвестиции для реализации такого проекта.

#### Заключение

Солнечная космическая энергетика является одной из самых малоизученных и недооцененных видов получения энергии из возобновляемых источников.

Солнечная энергия, полученная в космосе, имеет невысокую стоимость, но основной проблемой остается передача полученной энергии с геостационарной орбиты на поверхность Земли. В статье представлены несколько возможных способов реализации данной концепции с пояснением технологического процесса получения и передачи электроэнергии. Также были выявлены преимущества и недостатки систем передачи энергии с помощью лазерного луча и беспроводной микроволновой передачи энергии. На сегодняшний день солнечная космическая энергетика не может быть исследована в полном объеме из-за недостаточного финансирования.

В статье рассмотрена концепция солнечной космической энергетике. Представлена схема технологии, описывающая технологический процесс получения и передачи электроэнергии с геостационарной орбиты.

## References

1. Satellite Power System Concept Development and Evaluation Program July 1977 - August 1980. DOE/ET-0034, February 1978. 62 pages
2. Eric Rosenbaum and Donovan Russo (March 17, 2019). "China plans a solar power play in space that NASA abandoned decades ago". CNBC.com. Retrieved 19 March 2019.
3. Glaser, Peter E. (December 25, 1973). "Method And Apparatus For Converting Solar Radiation To Electrical Power". United States Patent 3,781,647.
4. "Case For Space Based Solar Power Development". August 2003. Retrieved 2006-03-14.
5. Satellite Power System (SPS) International Agreements. Prepared by Carl Q. Christol. HCP-R-4024-08, October 1978. 283 pages.

© Д.И. Набиуллин, Д.Л. Целовальникова, Р.Р. Вилданов, 2020



Ссылка на статью: Набиуллин Д.И., Целовальникова Д.Л., Вилданов Р.Р. - Космическая энергетика // Вести научных достижений. Естественные и технические науки – 2020. - №1. – С. 46-48. DOI: 10.36616/2687-1335-2020-1-46-48 URL: <https://www.vestind.ru/journals/architecture/releases/2020-1/articles?View&page=46>