

ЭЛАСТОМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ С ДИОКСИДОМ КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫМ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр

Определены характеристики диоксида кремния, полученного из рисовой шелухи ($\text{SiO}_2\text{-РШ}$), как высокодисперсного термостабильного минерального наполнителя эластомерных композиций. При дозировке 10 мас.ч. установлены особенности его влияния на формирование технологических свойств резиновых смесей на основе синтетического бутадиенстирольного каучука марки СКМС-30 АРК, кинетику и степень их вулканизации, физико-механические свойства резин относительно действия промышленного диоксида кремния (белой сажи) марки БС-120. Показано, что $\text{SiO}_2\text{-РШ}$ является минеральным наполнителем полуусиливающего действия, придающим резиновым смесям улучшенные технологические свойства, более качественное соотношение кинетических параметров серной вулканизации при пониженном значении энергии активации.

Ключевые слова: диоксид кремния, рисовая шелуха, наполнитель, эластомерные композиции из СКМС-30 АРК, свойства.

Введение

Важная роль в производстве резиновых изделий принадлежит наполнителям, способствующим улучшению технологических свойств резиновых смесей, повышению физико-механических показателей резин, придаанию им определенных специфических свойств и снижению стоимости продукции. Наибольшее распространение в качестве наполнителей эластомеров получили различные типы техуглерода и диоксиды кремния [1].

Диоксиды кремния последние десятилетия являются предметом интенсивного изучения, поскольку их использование, например, в шинных резинах позволяет существенно улучшить свойства вулканизатов, что невозможно получить при применении только технического углерода. Осажденные диоксиды кремния используются практически во всех деталях шин как без изменения концентрации технического углерода, так и при замене его части [1,2,3]. Однако, дороговизна импортных диоксидов кремния, энерго- и материалоемкость промышленных процессов получения вызывают потребность создания новых доступных технологий их получения в том числе из биосырья растительного происхождения.

Внимание исследователей привлекает идея создания наполнителей эластомерных композиций из рисовой шелухи [4]. Рисовая шелуха, как отход рисового производства, содержит в своем

составе до 35 мас.% углерода и около 20 мас.% диоксида кремния. Только в Украине ежегодно десятки тысяч тонн рисовой шелухи вывозятся на полигоны. Ранее [5–7] нами показано положительное влияние измельченной рисовой шелухи и ее модифицированных форм, продуктов термообработки измельченной рисовой шелухи на формирование технологических свойств резиновых смесей, физико-механических характеристик вулканизатов в сравнении с известными минеральными наполнителями. Целью данной работы стало исследование комплекса свойств эластомерных композиций с диоксидом кремния, полученным при утилизации отходов рисового производства путем осуществления совмещенного процесса получения тепловой энергии и диоксида кремния [8].

Экспериментальная часть

Получение диоксида кремния из рисовой шелухи ($\text{SiO}_2\text{-РШ}$) осуществлено под руководством профессора Сороки П.И. на экспериментальной установке, позволяющей совмещать процесс получения тепловой энергии и диоксида кремния по технологической схеме, включающей промывку и сушку рисовой шелухи, её измельчение в мельнице ударно-отражательного действия, неизотермическую термообработку в реакторе, теплообменник-рекуператор, циклон и фильтр для улавливания $\text{SiO}_2\text{-РШ}$ [6,8].

Исследование микроструктуры порошка $\text{SiO}_2\text{-РШ}$ осуществлено методом электронной

микроскопии с использованием растрового электронного микроскопа «РЭМ-106 И». Установлено, что аморфный диоксид кремния $\text{SiO}_2\text{-PШ}$ представляет собой высокодисперсный порошок с размером частиц от 22 мкм до 120 мкм с максимумом на гистограмме 52 мкм. На фотографиях, полученных с использованием микроскопа (Levenhok, камера DCM-50) видно, что частицы порошка $\text{SiO}_2\text{-PШ}$ менее склонны к агломерации, чем частицы промышленного диоксида кремния марки БС-120 (рис. 1).

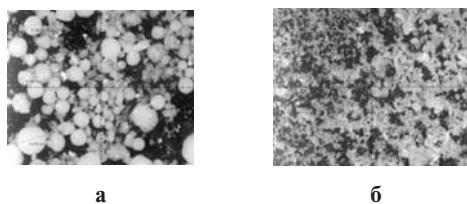


Рис. 1. Микрофотографии порошков исследуемых диоксидов кремния: а – БС-120; б – $\text{SiO}_2\text{-PШ}$ (увеличение в 230 раз)

Элементный анализ на лазерном анализаторе LEA-S500 компании SOLinstruments порошка $\text{SiO}_2\text{-PШ}$ показал наличие 74,6 мас.% кремния, БС-120 – 79,6 мас.%.

Поскольку в структуре $\text{SiO}_2\text{-PШ}$, как и в аморфном диокside кремния марки БС-120, может содержаться определенное количество влаги, которая способна оказывать отрицательное влияние на свойства эластомерных композиций, представляло интерес изучить процесс дегидратации. Дифференциальный термический анализ (DTA) на дериватографе Q1500 системы Паулик-Паулик-Эрдей фирмы МОМ показал, что процесс потери массы образцов в изученном интервале температур происходит без существенных отличий (рис. 2).

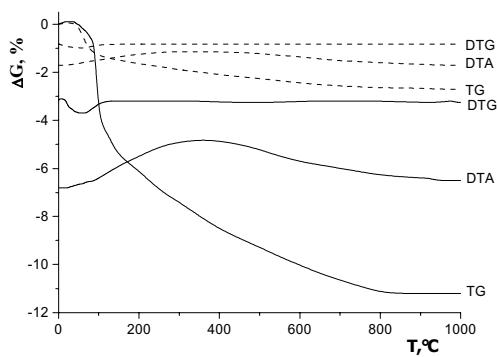


Рис. 2. Дериватограммы исследуемых образцов диоксида кремния: —— БС-120; —— $\text{SiO}_2\text{-PШ}$

Испарение молекулярной воды происходит в первом температурном интервале до 160°C. Процесс дегидратации поверхностных $-\text{OH}$ -групп с неярко выраженным экзотермическим максимумом наблюдается при 350–360°C. В изу-

ченном температурном диапазоне потеря массы для $\text{SiO}_2\text{-PШ}$ составила 2,7%, для диоксида кремния (белой сажи) марки БС-120 – 11,2%. Процесс дегидратации по массе (TG-кривая) для $\text{SiO}_2\text{-PШ}$ стабилизируется при температуре ~115°C, тогда как для БС-120 наблюдается до 1000°C. То есть, в отличие от аморфной белой сажи марки БС-120 опытный порошок $\text{SiO}_2\text{-PШ}$ содержит меньше влаги (в 4 раза) и, вероятно, содержит значительно меньше $-\text{OH}$ -групп в своей структуре, а в высокотемпературном диапазоне испытаний подвержен меньшим структурным изменениям.

Оценку усиливающего действия диоксида кремния на основе рисовой шелухи как наполнителя проведено в модельных эластомерных композициях на основе нестереорегулярного бутадиенстирольного каучука марки СКМС-30 АРК состава, мас.ч.: каучук – 100,0; сера молотая – 1,7; сульфенамид Т – 1,0; оксид цинка – 3,0; стеариновая кислота – 1,0; наполнитель – 10,0. Изучение влияния $\text{SiO}_2\text{-PШ}$ на свойства резиновых смесей и резин проведено в сравнении с равномассовым содержанием белой сажи марки БС-120 и контрольной композицией без наполнителя. Резиновые смеси изготовлены на лабораторных вальцах по общепринятых режимам. Исследование свойств эластомерных композиций выполнено по действующим стандартам и известным методикам [9–11].

Так, например, кинетику изотермической вулканизации эластомерных композиций при температурах 155°C и 165°C изучали с помощью сдвигового виброметра фирмы «Monsanto». Анализ реометрических кривых включал не только определение характеристик согласно ГОСТ 12535-84, но и расчет показателя термопластичности резиновой смеси ($M_{\text{нач}}/M_L$), температурных коэффициентов (K) по времени достижения оптимума вулканизации (K_{tc90}) и скорости вулканизации (K_{Rv}), условной константы скорости вулканизации (k), эффективной энергии активации (E) процесса вулканизации в главном периоде. По рассчитанному параметру разницы максимального равновесного (M_{HF}) и минимального (M_L) крутящих моментов по данным реометрии наполненных и ненаполненных резин согласно [10] был разделен эффект взаимодействия каучук-наполнитель от эффекта перечного сшивания за счет вулканизующей группы.

Результаты и их обсуждение

По результатам испытаний на сжимающем пластометре резиновых смесей из СКМС-30 АРК (табл. 1) с введением 10 мас.ч. опытного диоксида кремния $\text{SiO}_2\text{-PШ}$ их пластичность не снижается, как при введении аналогичной дозировки БС-120, а повышается на 17%. То есть, вве-

дение SiO₂-РШ положительно влияет на данный показатель переработки резиновых смесей при температуре 70°C.

Таблица 1

**Технологические свойства эластомерных композиций
на основе СКМС-30 АРК, содержащих 10 мас.ч.
диоксида кремния**

Показатель	Тип диоксида кремния		
	отсутствует	БС-120	SiO ₂ -РШ
T=70°C			
Пластичность по Капреру	0,42	0,37	0,49
T=155°C			
M _{нач.} , дН·м	6,1	7,0	6,1
M _L , дН·м	3,7	4,7	4,1
M _{нач.} /M _L	1,65	1,49	1,49
T=165°C			
M _{нач.} , дН·м	5,6	6,3	6,2
M _L , дН·м	3,4	4,1	4,0
M _{нач.} /M _L	1,65	1,54	1,55

Испытания на вибробореометре при 155⁰С и 165⁰С (табл. 1) с определением начального ($M_{нач.}$) и минимального (M_L) крутящих моментов резиновых смесей свидетельствуют о меньшем отрицательном влиянии опытного диоксида кремния SiO₂-РШ, относительно действия на эти технологические характеристики промышленной белой сажи БС-120. Судя по значению показателя $M_{нач.}/M_L$ (табл. 1), оба типа диоксида кремния обладают одинаковым влиянием на термопластиичность резиновых смесей.

Таким образом, установлено, что при температурах осуществления технологических операций с резиновыми смесями 10 мас.ч. опытного диоксида кремния SiO_2 -РШ вызывают меньшие технологические трудности, чем аналогичная дозировка промышленной белой сажи марки БС-120. Очевидно, это связано не только со структурностью и дисперсностью диоксида кремния SiO_2 -РШ, но и с ранее нами установленными методами ДТА и элементного анализа его особенностями химической природы.

Если считать, что соотношение реометрического параметра M_L наполненной и ненаполненной резиновых смесей коррелируют с коэффициентом усиления по параметру вязкости (R_L) [10], тогда, например, при температуре 155°C для эластомерной композиции с белой сажей БС-120 он равен 1,27; с SiO_2 -РШ – 1,11. Что указывает на более усиливающее действие на карбонатную матрицу СКМС-30 АРК белой сажи БС-120, по сравнению с SiO_2 -РШ, и на повышенную дисперсность промышленного диоксида кремния.

Реокинетические кривые вулканизации

резиновых смесей из СКМС-30 АРК при введении 10 мас.ч. диоксида кремния отличаются от контрольной ненаполненной композиции степенью и скоростью процесса вулканизации (рис. 3). Уровень показателей максимальный равновесный крутящий момент (M_{HF}) и относительная степень сшивания ($M_{HF} - M_L$) эластомерных композиций с исследуемым $\text{SiO}_2\text{-РШ}$ возрастает на 11–13%, по отношению к показателям ненаполненной композиции, и близки к вулканизатам с промыщленной белой сажей марки БС-120 (табл. 2).

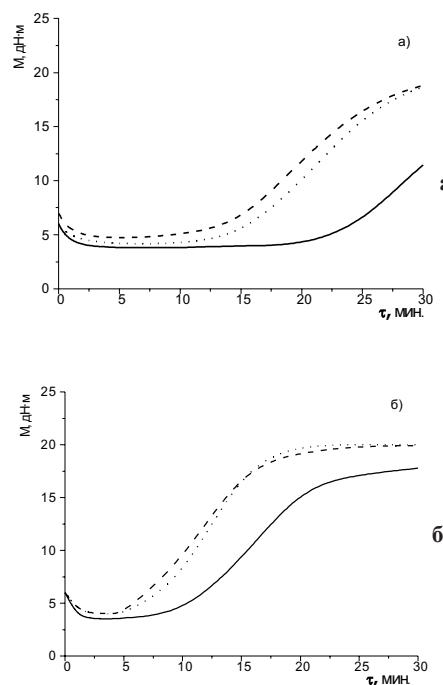


Рис. 3. Кинетические кривые серной вулканизации резиновых смесей на основе СКМС-30 АРК с 10,0 мас. ч. диоксида кремния при температурах: а) 155°C; б) 165°C.
 —— без наполнителя; ----- БС-120; SiO_2 -ПШ

Равновесная степень набухания резин в ксиоле в оптимуме вулканизации для резин без наполнителя – 5,21; с БС-120 – 5,14; с SiO_2 -РШ – 4,58 также свидетельствует об увеличенном количестве вулканических сшивок в эластомерных композициях, содержащих опытный диоксид кремния SiO_2 -РШ, относительно ненаполненных композиций или содержащих белую сажу БС-120.

Значения параметра $(M_{HF} - M_L)_{\text{нап.}} - (M_{HF} - M_L)_{\text{ненап.}}$ эластомерных композиций (табл. 2) свидетельствуют об участии изученных диоксидов кремния в образовании структурной сетки резины. Эффект взаимодействия каучук-диоксид кремния от общей относительной степени сшивания СКМС-30 APK составил 11–14% для композиции с SiO_2 -РШ и 9% для композиции с БС-120.

Таблица 2

Реометрические характеристики эластомерных композиций на основе СКМС-30 АРК, содержащих 10 мас.ч. диоксида кремния

Показатель	Тип диоксида кремния		
	отсутствует	БС-120	SiO ₂ -РШ
T=155°C			
M _{HF} , дН·м	18,1	20,4	20,4
M _{HF} -M _L , дН·м	14,4	15,7	16,3
(M _{HF} -M _L) _{нан} -(M _{HF} -M _L) _{ненан.} , дН·м	—	1,3	1,9
t _s , мин	22,3	14,4	16,2
t _{C90} , мин	37,6	29,3	29,3
R _V , мин ⁻¹	6,5	6,7	7,6
k, мин ⁻¹	0,18	0,16	0,21
T=165°C			
M _{HF} , дН·м	17,8	19,8	20,0
M _{HF} -M _L , дН·м	14,4	15,7	16,0
(M _{HF} -M _L) _{нан} -(M _{HF} -M _L) _{ненан.} , дН·м	—	1,3	1,6
t _s , мин	11,1	7,0	8,0
t _{C90} , мин	21,3	16,2	15,8
R _V , мин ⁻¹	9,8	10,9	12,8
k, мин ⁻¹	0,28	0,36	0,34
K _{tc90}	1,77	1,81	1,85
K _{RV}	1,51	1,63	1,68
K _k	1,56	2,25	1,62
E, кДж/моль	69,0	126,6	75,3

То есть, подобно промышленной белой саже марки БС-120, опытный диоксид кремния SiO₂-РШ не только обладает усиливающим действием в каучуковой матрице, но также участвует в образовании структурной сетки резин на основе СКМС-30 АРК и в изученной дозировке 10 мас.ч. способствует увеличению относительной степени сшивания вулканизатов на 11–13% относительно ненаполненной резины.

Анализ кинетических кривых вулканизации эластомерных композиций на основе СКМС-30 АРК (рис. 3) показал, что, в отличие от отрицательных эффектов от присутствия диоксида кремния в наполненных техуглеродом резиновых смесях шинного типа [12], введение только диоксида кремния положительно влияет на ход серной вулканизации, в 1,2–1,3 раза уменьшая время начала вулканизации t_s и оптимальное время вулканизации t_{C90} (табл. 2). Эластомерная композиция с исследуемым диоксидом кремния SiO₂-РШ отличается от композиций с промышленной белой сажей марки БС-120 более продолжительным временем начала вулканизации и меньшим значением параметра t_{C90} и, как следствие, обладает более высокой скоростью вулканизации R_V.

Установлено также, что эластомерная композиция с SiO₂-РШ обладает более высокими значениями температурных коэффициентов (K) по показателям t_{C90} и R_V относительно резино-

вых смесей с БС-120. Рассчитанный с учетом значений условных констант скорости вулканизации (k) при 155°C и 165°C параметр эффективная энергия активации процесса вулканизации (E) для изученных композиций существенно отличается. Введение диоксида кремния марки БС-120 сопровождается увеличением параметра E эластомерной композиции в 1,8 раза. Введение опытного диоксида кремния SiO₂-РШ вызывает рост параметра E эластомерной композиции не более 1,1 раза относительно уровня этого показателя для ненаполненной резиновой смеси.

Таким образом, диоксид кремния SiO₂-РШ в дозировке 10 мас.ч. обеспечивает более качественное соотношение кинетических параметров процесса серной вулканизации и менее отрицательно влияет на эффективную энергию активации процесса серной вулканизации эластомерных композиций на основе бутадиенметилстирольного каучука марки СКМС-30 АРК, чем аналогичная дозировка промышленного диоксида кремния марки БС-120.

Высокая дисперсность аморфного диоксида кремния SiO₂-РШ позволила предположить возможность его использования в качестве эффективного наполнителя резин. Однако, определение физико-механических свойств вулканизатов при нормальных условиях испытаний на основе нестереорегулярного по строению бутадиенметилстирольного каучука, наполненных диоксидами кремния в дозировке 10 мас.ч. показало (табл. 3), что опытный диоксид кремния из рисовой шелухи обеспечивает получение пониженных механических свойств резин по сравнению с промышленным диоксидом кремния марки БС-120.

Таблица 3
Физико-механические свойства резин на основе СКМС-30 АРК, содержащих 10 мас.ч. диоксида кремния (оптимум вулканизации при 155°C)

Показатель	Тип диоксида кремния		
	отсутствует	БС-120	SiO ₂ -РШ
Условное напряжение при удлинении 300%, МПа	0,4	1,7	1,8
Условная прочность при растяжении, МПа	1,3	3,2	2,4
Относительное удлинение при разрыве, %	440	550	480
Сопротивление раздиру, кН/м	6,4	9,8	7,8
Твердость по Шору A, усл. ед.	47	50	49
Эластичность по отскоку, %	54	48	52

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

То есть, SiO_2 -РШ не проявляет действия усиливающего наполнителя, как промышленный наполнитель БС-120, и может быть отнесен к полуусиливающим наполнителям. Подобно результатам работы [4], полученные нами физико-механические показатели резин, содержащих SiO_2 -РШ, вероятно, объяснимы отсутствием реакционноактивных сианольных групп в структуре опытного наполнителя.

Выходы

Экспериментально установлено, что порошкообразный белый продукт, полученный из рисовой шелухи путем осуществления совмещенного процесса получения тепловой энергии и минерального остатка (SiO_2 -РШ) является высокодисперсным, термостабильным, не содержащим сианольные группы диоксидом кремния. В эластомерных композициях на основе нестереорегулярного бутадиенметилстирольного каучука марки СКМС-30 АРК показано, что при дозировке 10 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука SiO_2 -РШ является минеральным наполнителем полуусиливающего действия, придающим резиновым смесям улучшенные технологические свойства, более качественное соотношение кинетических параметров серной вулканизации при пониженном значении энергии активации, относительно эластомерной композиции с равнотомассовым содержанием промышленного диоксида кремния – белой сажи марки БС-120. SiO_2 -РШ можно рассматривать в качестве перспективного отечественного экологически безопасного минерального наполнителя при изготовлении эластомерных композиций для резиновых изделий.

Выражаем благодарность за помощь в выполнении экспериментальных исследований авторы благодарны Т.П. Панько, Е.В. Калининой (ПАО «Росава», г. Белая Церковь), С. Мажуге (ООО «Материал Лаб», г. Киев), Д.В. Гуре, В.И. Кравчу (ГВУЗ УГХТУ, г. Днепр).

1. Большой справочник резинщика. Ч. 1. Каучуки и ингредиенты / Под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. – М.: ООО «Изд. центр «Техинформ» МАИ», 2012. – 744 с.

2. Гончаров Л.Т., Пичугин А.М. Цели, направления развития и состояние работ по увеличению доли использования кремнеземных наполнителей в рецептуре шинных резин // Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии: Тез. докл. 10-ой рос. науч.-практ. конф. – М., 2002. – С.134.

3. Пичугин А.М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин // Каучук и резина. – 2008. – № 5. – С.2-11.

4. Sac-Oui P., Rakdee C., Thanmathorn P. Use of rice husk ash as filler in natural rubber vulcanizates: In comparison with other commercial fillers // J. Appl. Polym. Sci. – 2002. – Vol.83. – № 11. – P.2485-2493.

5. Применение измельченной рисовой шелухи в качестве наполнителей эластомерных композиций / В.И. Овчаров, П.И. Сорока, Т.В. Гриднева, Л.О. Ковинчук, И.В. Сухая, Л.А. Соколова // Эластомеры: материалы, технология, оборудование, изделия: Тез. докл. 8-ой Укр. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Днепропетровск, 2010. – С.123-124.

6. Наполнители эластомеров на основе рисовой шелухи / О.А. Тертышный, Д.В. Гура, П.И. Сорока, В.И. Овчаров // Наукові праці ОНАХТ. – 2013. – Вип. 43. – Т.1. – С.74-77.

7. Властивості еластомерних композицій за наявності кремній-углецевого наповнювача з біосировини / В.І. Овчаров, Л.О. Соколова, Д.В. Гура, П.Г. Сорока // Вопр. хими и хим. технологии. – 2014. – № 1. – С.61-65.

8. Гура Д.В. Суміщений процес одержання теплової енергії та силіцій (IV) оксиду із відходів рисового виробництва: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.17.08 / Укр. держ. хім.-технол. ун-т. – Дніпропетровськ, 2014. – 24 с.

9. Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация. Научное издание / В.И. Овчаров, М.В. Бурмистр, В.А. Тютин, В.В. Вербас, А.Г. Смирнов, А.П. Науменко. – М.: Изд. дом «САНТ-ТМ», 2001. – 400 с.

10. Орлов В.Ю., Комаров А.М., Ляпина Л.А. Производство и использование технического углерода для резин. – Ярославль: Изд-во Александр Рутман, 2002. – 512 с.

11. Кузьминский А.С., Кавун С.М., Кирпичев В.П. Физико-химические основы получения, переработки и применения эластомеров. – М.: Химия, 1976. – 368 с.

12. Никитин Ю.Н. История развития технологий формирования сетчатых эластомерных структур в производстве шин // Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии: Тез. докл. 17-ой междунар. науч.-практ. конф. – М. – 2011. – С.199-202.

Поступила в редакцию 15.09.2016

ELASTOMERIC COMPOSITES WITH SILICON DIOXIDE THAT WAS OBTAINED FROM THE RICE HUSK

V.I. Ovcharov, L.A. Sokolova, L.R. Yusupova, O.A. Tertishniy
Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro,
Ukraine

The paper reports the characteristics of the silicon dioxide obtained from the rice husk (SiO_2 -RH) as a superfine thermostable mineral filler of elastomeric composites. At a dosage of 10 weight parts, we determined its influence on the technological properties of rubber compounds based on styrene-butadiene rubber of the trade mark SKMS-30 ARC, the kinetics and the degree of its vulcanization, and the physical and mechanical properties of the rubber concerning the industrial silicon dioxide (i.e. white black) of the mark BS-120. We showed that SiO_2 -RH is a mineral filler with a semi-reinforcing action which provides improved technological properties to the rubber compounds as well as enhanced kinetic parameters of the sulfuric vulcanization with a reduced value of activation energy.

Keywords: silicon dioxide; rice husk; filler; elastomeric compositions based on SKMS-30 ARC; properties.

REFERENCES

1. Reznichenko S.V., Morozova Y.L., *Bol'shoye spravochnik rezinshchika. Tom 1. Kauchuki i ingridienty* [Big reference book for specialists in rubber. Part 1. Rubbers and ingredients]. Tekhninform Publishers, Moscow, 2012. 744 p. (in Russian).
2. Goncharov L.T., Pichugin A.M., Tseli, napravleniya razvitiya i sostoyanie rabot po uvelicheniyu doli ispol'zovaniya kremnezemnykh napolnitelei v retsepture shinnikh rezin] [Purposes, directions of development and currents states of an increase in using silica fillers in formulation of tire rubbers]. *Proceedings of the 10th Russian Scientific and Practical Conference «Rubber Industry. Raw Materials. Materials. Technologies»*. Russia, Moscow, 2002, p. 134. (in Russian).
3. Pichugin A.M. Materialovedcheskie aspekty sozdaniya shinnikh rezin [Issues of materials science concerning the creation of tire rubbers]. *Kauchuk i Rezina*, 2008, no. 5, pp. 2-11. (in Russian).
4. Sac-Oui P., Rakdee C., Thanmathorn P. Use of rice husk ash as filler in natural rubber vulcanizates: In comparison with other commercial fillers. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, vol. 83, no. 11, pp. 2485-2493.
5. Ovcharov V.I., Soroka P.I., Gridneva T.V., Kovinchuk L.O., Sukhaya I.V., Sokolova L.A., Primeneniye izmelchennoi risovoi shelukhi v kachestve napolnitelei elastomernykh kompozitsiy [Application of the crushed rice husk as fillers of elastomeric compositions]. *Proceedings of the 8th Ukrainian Scientific and Technical Conference with the International Participation «Elastomers: Materials, Technology, Equipment, Products»*. Ukraine, Dnepropetrovsk, 2010, p. 123-124. (in Russian).
6. Tertishniy O.A., Gura D.V., Soroka P.I., Ovcharov V.I. Napolniteli elastomerov na osnove risovoi shelukhi [Fillers of elastomers on the basis of rice husk]. *Naukovi Pratsi ONAKHT*, 2013, no. 43, vol. 1, pp. 74-77. (in Russian).
7. Ovcharov V.I., Sokolova L.A., Gura D.V., Soroka P.I. Vlastynosti elastomernykh kompozitsii za nayavnosti kremniivugletsevogo napovnyuvacha z biosyrovvyni [Properties of elastomeric composites containing a silicon-carbon filler on the basis of bio-materials]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2014, vol. 1, pp. 61-65. (in Ukrainian).
8. Gura D.V., *Sumischenyi protses oderzhann'ya teplovoi energii ta silitsiy(IV) oksydu z vidkhodiv rysovogo vyrobnytstva* [Combined process of obtaining thermal energy and silicium (IV) oxide from waste of rice production]: thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences, Ukrainian State University of Chemical Technology, 2014. (in Ukrainian).
9. Ovcharov V.I., Burmistr M.V., Tutin V.A., Verbas V.V., Smirnov A.G., Naymenko A.P., *Svoistva resinovykh smesei i rezin: otsenka, regulirovanie, stabilizatsiya* [Properties of rubber mixes and rubbers: estimation, regulation, stabilization]. SANT-TM Publishers, Moscow, 2001. 400 p. (in Russian).
10. Orlov V.U., Komarov A.M., Liapina L.A., *Proizvodstvo i ispol'zovaniye tekhnicheskogo ugleroda dl'ya rezin* [Production and use of technical carbon for rubbers]. Alexander Rutman Publishers, Yaroslavl', 2002. 512 p. (in Russian).
11. Kuzminsky A.S., Kavun S.M., Kirpichev V.P., *Fiziko-khimicheskie osnovy polucheniya, pererabotki i primeneniya elastomerov* [Physical and chemical fundamentals of receiving, processing and utilizing elastomers]. Khimiya, Moscow, 1976. 368 p. (in Russian).
12. Nikitin Yu.N., Istoryya razvitiya tekhnologiy formirovaniya setchatykh elastomernykh struktur v proizvodstve shin [History of the development of technologies of forming mesh elastomeric structures in production of tires]. *Proceedings of the 17th International Scientific and Practical Conference «Rubber Industry. Raw Materials. Materials. Technologies»*. Russia, Moscow, 2011, pp. 199-202. (in Russian).