

УДК 621.3.08

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ НАГРУЗОК В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА

Семёнов А.С.

Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Мирный, e-mail: sash-alex@yandex.ru

Данная научная статья посвящена вопросам определения нелинейных нагрузок в системе электроснабжения подземного рудника по добыче алмазосодержащих пород в условиях Крайнего Севера на территории Республики Саха (Якутия). Для определения нелинейных нагрузок выбран поверхностный комплекс рудника, проанализирована структура системы электроснабжения, определены уровни напряжения на руднике для питания электрооборудования. Электроснабжение рудника осуществляется от подстанции 110/6,6/6,3 кВ, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора. Технические характеристики трансформаторов приведены в табл. 1. Определена мощность короткого замыкания на шинах 110 кВ, исходя из номинального тока отключения выключателя, установленного перед вводом в трансформатор. Представлен фрагмент схемы электроснабжения рудника от подстанции 110/6,6/6,3 кВ. Для ограничения токов короткого замыкания на стороне 6,6 и 6,3 кВ выбраны токоограничивающие реакторы, параметры которых сведены в табл. 2. Для компенсации высших гармонических составляющих тока и повышения коэффициента мощности в закрытом распределительном устройстве 6,3 кВ к секции шин, питающейся от второго трансформатора, присоединено нерегулируемое фильтрокомпенсирующее устройство Allen-Bradley, технические характеристики которого приведены в табл. 3. Приведен состав нелинейных электроприемников, питающихся от закрытого распределительного устройства, представлены схемы электроснабжения нелинейных электроприемников и расчетные значения их нагрузок. Сделаны выводы о суммарной мощности нелинейных электроприемников подземного рудника.

Ключевые слова: нелинейные нагрузки, система электроснабжения, подземный рудник, трансформатор, гармоники, суммарная мощность

DETERMINATION OF NON-LINEAR LOADS IN ELECTRIC POWER SUPPLY OF UNDERGROUND MINE

Semenov A.S.

Polytechnic Institute (branch) «NEFU name after M.K. Ammosov», Mirny, e-mail: sash-alex@yandex.ru

This article is devoted to the issues of the definition of non-linear loads in the electric power supply system of underground mine for the extraction of diamond rocks in the Far North in the Republic of Sakha (Yakutia). To determine the non-linear loads selected surface mine complex, analyzed the structure of the electricity system are defined voltage levels at the mine for electrical power. Electricity is provided from the mine 110/6,6/6,3 kV, in which two three-winding transformer installed. Specifications are given in table transformers. Determine the capacity of the short-circuit busbar of 110 kV, based on the nominal circuit breaker trip current set before entering the transformer. Presented by the mine power circuits fragment of 110/6,6/6,3 kV. To limit the short-circuit current side of 6,6 and 6,3 kV, current limiting is selected, parameters are tabulated. To compensate for the higher harmonic current and improve the power factor in a closed switchgear 6,3 kV to the tire section, is powered by a second transformer, filter-attached device unregulated Allen-Bradley, whose specifications are given in the table. An composition of the non-linear power consumers, powered by indoor switchgear, power supply scheme presented nonlinear power consumers and the estimated value of their loads. Conclusions about the total power nonlinear power consumers of the underground mine.

Keywords: non-linear loads, electrical power supply system, an underground mine, a transformer, harmonic, total power

В настоящее время акционерная компания «АЛРОСА» (ПАО) ведет активную разработку месторождений полезных ископаемых подземным способом. Обосновывается это экономической целесообразностью, снижаются затраты на вскрышные работы, требуется меньше специального транспорта. На данный момент на территории Республики Саха (Якутия) действуют четыре подземных рудника по добыче алмазосодержащих пород, и один находится на стадии строительства. Качество алмазов, добываемых в них, существенно улучшает-

ся из-за меньшей кусковатости руды, которая поступает на обоганительную фабрику и проходит меньше этапов дробления, нежели руда, поступающая с карьера.

Практически всё оборудование и механизмы на руднике имеют электрический привод, поэтому для бесперебойной подачи электроэнергии разрабатывается сложная система электроснабжения. Система электроснабжения должна обеспечивать надежное и бесперебойное питание электроэнергией основных потребителей, требуемое качество электроэнергии, экономичность

всех элементов системы, гибкость и мобильность, обособленное от сетей поверхности питания подземных электроприемников, безопасность в отношении пожаров, взрывов рудничной атмосферы и поражения людей электрическим током. Выбор напряжения зависит от назначения и расположения потребителей, регламентируется различными инструкциями. Для питания электроприемников рудника применяется напряжение 6000, 1140, 660 и 380 В переменного тока. Для питания ручного электроинструмента принято напряжение 127 В, а для освещения – 220, 127 и 36 В.

Электроснабжение рудника осуществляется от подстанции 110/6,6/6,3 кВ. На подстанции установлены два трехобмоточных трансформатора ТДТНШ-40000/110, технические характеристики трансформатора представлены в табл. 1.

Питание подстанции осуществляется по двум одноцепным воздушным линиям (ВЛ) 110 кВ. Мощность короткого замыкания на шинах 110 кВ, определенная исходя из номинального тока отключения выключателя ВМТ-110Б-25/1250 УХЛ1, установленного перед вводом в трансформатор, составляет

$$S_{кз}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{ном.откл} = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 25 = 4763 \text{ кВА.}$$

мощности. Технические характеристики ФКУ приведены в табл. 3.

В состав нелинейных электроприемников, питающихся от ЗРУ-1 6,3 кВ, входят:

– регулируемый электропривод постоянного тока подъемной машины скипового подъема скипового ствола (2500 кВт, 12-пульсный выпрямитель с питанием от двух двухобмоточных трансформаторов ТСЗР-2500, 6300/850 В);

– регулируемый электропривод постоянного тока подъемной машины клетьевого ствола (850 кВт, 6-пульсный преобразователь с питанием от трансформатора ТСЗР-1600, 6300/620 В; категория по бесперебойности электроснабжения – I);

– регулируемый электропривод постоянного тока подъемной машины клетьевого подъема скипового ствола 2Ц5х2,4Д-ТД2 (1500 кВт, 6-пульсный преобразователь с питанием от трансформатора ТСЗР-2500 6000/850В; категория по бесперебойности электроснабжения – I);

– регулируемый электропривод постоянного тока подъемной машины клетьевого ствола (1500 кВт, 6-пульсный преобразователь с питанием от трансформатора ТСЗР-2500, 6300/850В; категория по бесперебойности электроснабжения – I);

Таблица 1

Технические данные трансформатора ТДТНШ-40000/110

Тип трансформатора	Номинальная мощность, МВА	Номинальные напряжения обмоток, кВ			Потери мощности, кВт		$U_{кз}, \%$			$I_{\phi_{xy}}, \%$
		ВН	СН	НН	$P_{кз}$	P_{xx}	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
ТДТНШ-40000/110	40	115	6,6	6,3	63	220	10,5	17,0	6,5	0,8

Фрагмент схемы электроснабжения от подстанции 110/6,6/6,3 кВ изображен на рис. 1.

Для ограничения токов короткого замыкания на стороне 6,6 и 6,3 кВ установлены токоограничивающие реакторы РБДГ-10-2500-0,35УЗ, РБСГ-10-2х1000-0,28УЗ, РБГ-10-1000-0,56УЗ. Параметры установленных токоограничивающих реакторов сведены в табл. 2.

В закрытом распределительном устройстве (ЗРУ) 6,3 кВ к секции шин, питающейся от второго трансформатора, присоединено нерегулируемое фильтрокомпенсирующее устройство (ФКУ) Allen-Bradley для компенсации 5, 7, 11, 13 высших гармонических составляющих тока и повышения коэффициента

– частотно-регулируемый электропривод 3150 кВт вентилятора ВЦД-42,5 № 1 (высоковольтный преобразователь частоты с 18-пульсным управляемым выпрямителем с питанием от трансформатора 5000 кВА, 6300/2100/2100/2100 В; категория по бесперебойности электроснабжения – I);

– частотно-регулируемый электропривод 3150 кВт вентилятора ВЦД-42,5 № 2 (высоковольтный преобразователь частоты с 18-пульсным управляемым выпрямителем с питанием от трансформатора 5000 кВА, 6300/2100/2100/2100 В; категория по бесперебойности электроснабжения – I).

Схемы электроснабжения нелинейных электроприемников изображены на рис. 2, 3.

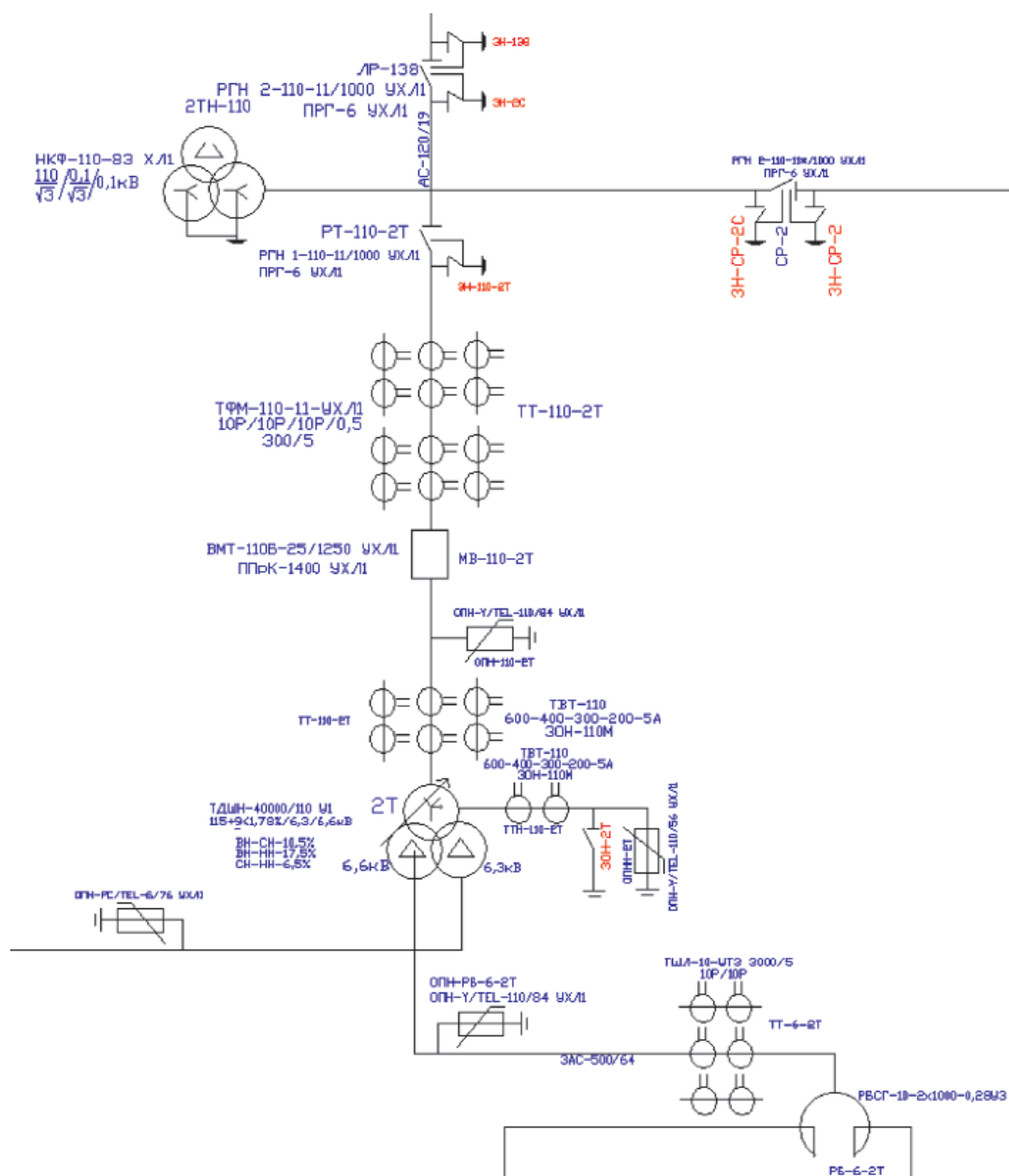


Таблица 2

Тип реактора	Номинальное напряжение, кВ	Дли-тельно допу-стимый ток, А	Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Номи-нальные потери на фазу, кВт	Ток элек-тродина-мической стойкости (амплиту-да), кА	Принад-лежность к шинам ПС
РБГ-10-1000-0,56УЗ	10	1000	0,56	7,8	24	ЗРУ 6,6 кВ
РБДГ-10-2500-0,35УЗ	10	2000	0,35	20,5	37	ЗРУ 6,3 кВ
РБСГ-10-2х1000-0,28УЗ	10	2×1000	0,28/0,856/0,132* (коэффициент связи 0,53)	10	45	ЗРУ 6,6 кВ

СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ № 9, 2016

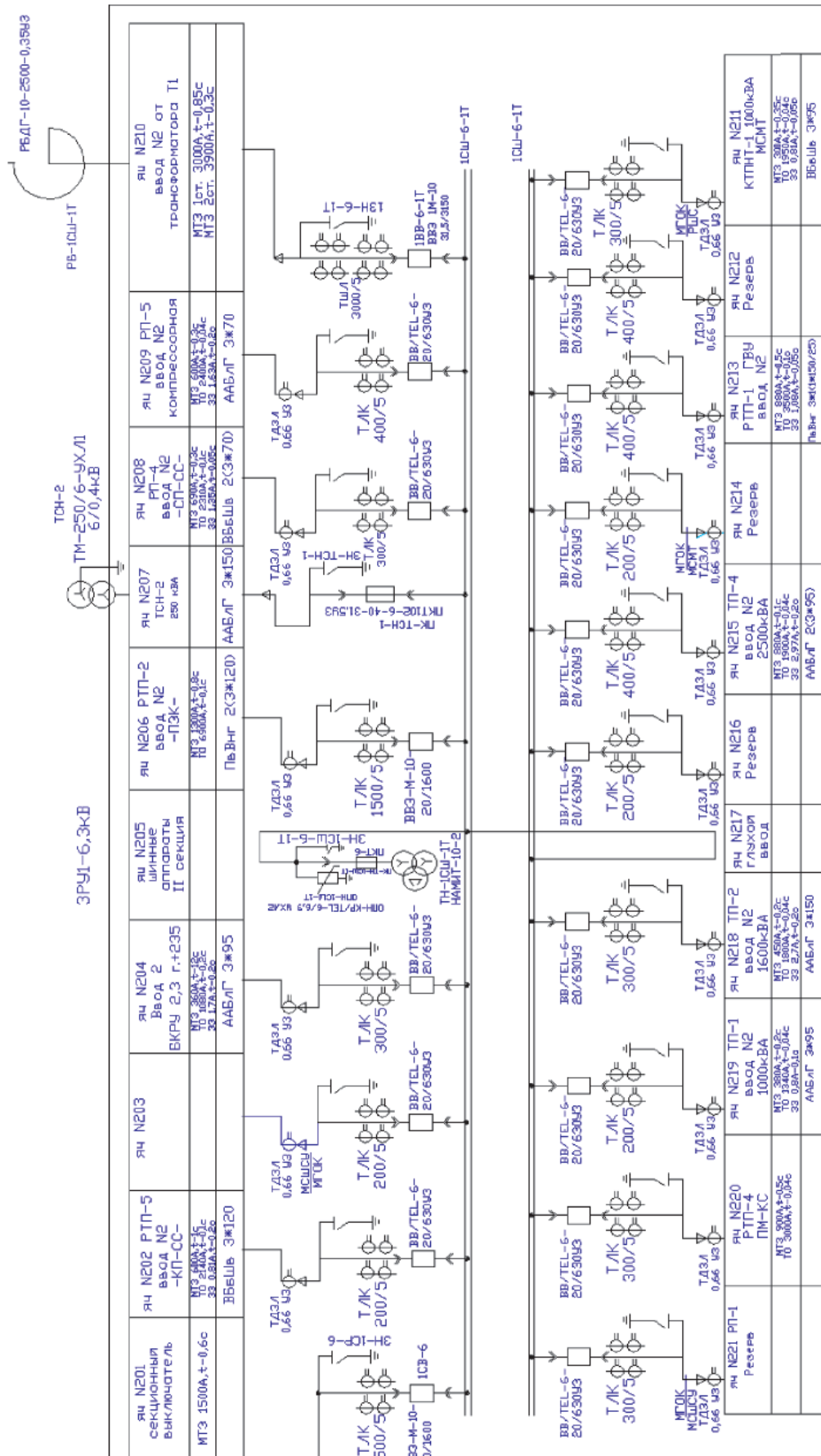


Рис. 3. Схема электроснабжения синхронных двигателей с частотно регулируемым приводом вентиляторной установки главного проветривания

Таблица 3

Технические характеристики ФКУ

Номер гармоники	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	L , мГн	Резонансная частота, Гц
5-я	22,99	15,33	11,1	244,3
7-я	22,99	15,33	5,68	341,1
11-я	30,66	30,66	1,44	535,6
13-я	30,66	30,66	1,05	627,2

Таблица 4

Расчетные нагрузки нелинейных электроприемников

Тип ЭП	Секция шин	$P_{ном}$, кВт	K_c	$\cos \varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Эл. привод пост. тока ПМ СПСС	6,3 кВ 2Т	2500	0,7	0,8	1750	1312,5	2187,5	200,5
Эл. привод пост. тока ПМ КС	6,3 кВ 1Т	850	0,7	0,8	595	446,3	743,75	68,2
Эл. привод пост. тока ПМ КПСС	6,3 кВ 2Т	1500	0,6	0,7	900	918,2	1285,71	117,8
Эл. привод пост. тока ПМ КС	6,3 кВ 1Т	1500	0,6	0,7	900	918,2	1285,71	117,8
Эл. привод вентилятора	6,3 кВ 1Т	3150	0,8	0,9	2520	1220,5	2800	256,6
Эл. привод вентилятора	6,3 кВ 2Т	3150	0,8	0,9	2520	1220,5	2800	256,6

Расчет мощностей электрических нагрузок производился методом коэффициента спроса с учетом рекомендаций РТМ 36.18.32.4-92 для промышленности. Расчетные значения нагрузок нелинейных электроприемников приведены в табл. 4.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что суммарная мощность нелинейных электроприемников подземного рудника, присоединенных к секции шин 6,3 кВ питающейся от первого трансформатора, равна 4829 кВА, а от второго трансформатора – 6273 кВА, что в сумме составляет более 11 МВА. Полученные расчетные данные в дальнейшем будут использованы при выборе компенсаторных устройств и при проведении анализа качества электроэнергии.

Список литературы

1. Бондарев В.А., Семёнов А.С. // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–2. – С. 302–303.
2. Бондарев В.А., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 228–229.
3. Гольдман А.А., Семёнов А.С., Матул Г.А. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–2. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=21627>.
4. Егорова А.А., Семёнов А.С., Петрова М.Н. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–2. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=22723>.
5. Загоило С.А., Семёнов А.С. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 11–3. – С. 333–336.
6. Загоило С.А., Черенков Н.С., Семёнов А.С. // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 7–0. – С. 76–79.
7. Карташев И.И., Тульский В.Н., Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Мониторинг показателей качества электрической

энергии в системах электроснабжения горных предприятий: монография. – М., 2013. – 142 с.

8. Кузнецов Н.М., Бебихов Ю.В., Самсонов А.В., Егоров А.Н., Семёнов А.С. Качество электрической энергии горных предприятий: монография. – М., 2012. – 68 с.

9. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4–2. – С. 295–299.

10. Кузнецов Н.М., Семенов А.С., Бебихов Ю.В., Рыбников А.В. // Горный журнал. – 2014. – № 1. – С. 23–26.

11. Петрова М.Н., Семёнов А.С. // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–2. – С. 312–314.

12. Рушкин Е.И., Бондарев В.А., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 229–231.

13. Рушкин Е.И., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–2. – С. 341–342.

14. Рушкин Е.И., Семёнов А.С. // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 20. – С. 34–41.

15. Рушкин Е.И., Семёнов А.С., Саввинов П.В. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–12. – С. 2615–2619.

16. Саввинов П.В., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 232.

17. Саввинов П.В., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–2. – С. 342–344.

18. Семёнов А.С. // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2014. – Т. 11. – № 1. – С. 51–59.

19. Семёнов А.С. // Естественные и технические науки. – 2013. – № 4 (66). – С. 296–298.

20. Семёнов А.С. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9–2. – С. 29–34.

21. Семёнов А.С. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 5–3. – С. 391–395.

22. Семёнов А.С. // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–2. – С. 314–319.

23. Семёнов А.С. // Мир современной науки. – 2013. – № 1 (16). – С. 12–15.

24. Семёнов А.С. // Наука в центральной России. – 2012. – № 2S. – С. 23–27.
25. Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 232–236.
26. Семенов А.С. // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – № 11. – С. 68–73.
27. Семёнов А.С. // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 18. – С. 71–77.
28. Семёнов А.С., Бондарев В.А. // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3–4. – С. 414–416.
29. Семёнов А.С., Бондарев В.А. // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 4–1. – С. 112–117.
30. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М. // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8–5. – С. 1066–1070.
31. Семенов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М., Матул Г.А. // Естественные и технические науки. – 2014. – № 3 (71). – С. 165–171.
32. Семенов А.С., Кузнецов Н.М. // Измерительная техника. – 2014. – № 4. – С. 31–34.
33. Семёнов А.С., Матул Г.А., Хазиев Р.Р., Шевчук В.А., Черенков Н.С. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–6. – С. 1210–1215.
34. Семёнов А.С., Пак А.Л., Шипулин В.С. // Приволжский научный вестник. – 2012. – № 11 (15). – С. 17–23.
35. Семёнов А.С., Самсонов А.В., Бебихов Ю.В., Матул Г.А. // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6 (84). – С. 446–450.
36. Семёнов А.С., Самсонов А.В., Матул Г.А., Черенков Н.С., Загоило С.А., Мартынова А.Б. // Естественные и технические науки. – 2015. – № 10 (88). – С. 331–334.
37. Семёнов А.С., Хазиев Р.Р. // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 5–5. – С. 694–698.
38. Семёнов А.С., Хубиева В.М., Петрова М.Н. // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10–3. – С. 523–528.
39. Семёнов А.С., Шипулин В.С. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6–3. – С. 480–484.
40. Черенков Н.С., Семёнов А.С. // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3–4. – С. 417–419.
41. Шевчук В.А., Семёнов А.С. // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3–4. – С. 419–423.
42. Шипулин В.С., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–2. – С. 344–347.
43. Semenov A.S. // В сборнике: Applied and Fundamental Studies Proceedings of the 1st International Academic Conference. Edited by Yan Maximov. – 2012. – P. 301–304.
44. Semenov A.S. // В сборнике: Applied Sciences and technologies in the United States and Europe: common challenges and scientific findings Proceedings of the 3th International scientific conference. Editor Ludwig Siebenberg. – 2013. – P. 139–141.
45. Semenov A.S. // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 12. – P. 65–66.
46. Semenov A.S. // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 12. – С. 57–59.
47. Semenov A.S. // Наука и технологии. – 2014. – № 3. – С. 22–28.
48. Semenov A.S., Shipulin V.S. // Europäische Fachhochschule. – 2013. – № 1. – P. 228–230.