СЖАТЫЙ ГАЗ СОВЕРШАЕТ РАБОТУ В СПИРАЛЬНОМ ДЕТАНДЕРЕ НЕ РАСШИРЯЯСЬ, А СЖИМАЯСЬ. ПАРАДОКС ИЛИ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ? ВАРИАНТ ОТВЕТА 25581380

COMPRESSED GAS DOES WORK IN THE SPIRAL DETANDER BY NOT EXPANDING, BUT COMPRESSING. PARADOX OR REGULARITY? ANSWER OPTION 25581380

УДК 536.735

Гурков Александр Владимирович генеральный директор ООО «ПОРЕЧЬ», Научная организация ООО «ПОРЕЧЬ», Коды ОКВЭД – 74.90., 72.19., ИНН 6166059539, Россия, г. Ростов-на-Дону

Gurkov Alexander Vladimirovich

Аннотация

Случайно был произведён эксперимент, в ходе которого выяснилось, что сжатый газ, проходя через спиральный механизм спирального компрессора и ещё более сжимаясь, при этом совершал работу по выработке электроэнергии. Это противоречит второму началу термодинамики, газ не может совершать положительную работу и при этом накапливать потенциальную энергию сжатия; при отсутствии разности температур теплота не может быть преобразована в работу. Энергия не может взяться из ниоткуда, это противоречит закону сохранения энергии. Однозначного ответа на вопрос в заголовке статьи пока нет. Предложен лишь вариант ответа с восьмизначным номером. Вполне вероятно, что этот вариант ответа неверный. Молодым учёным, учёным, исследователям, научным работникам, аспирантам и их научным руководителям, преподавателям ВУЗов, профессорам, академикам и другим представителям научного

сообщества предлагается дать свой вариант ответа с восьмизначным номером любого значения, во избежание случайного совпадения. Для этого надо написать научную статью с таким же заголовком, но иным восьмизначным номером варианта ответа, с такой же аннотацией, таким же УДК, такими же ключевыми словами, такой же первой частью статьи, но с иным автором (авторами) статьи, иной научной организацией, иной второй частью статьи и с иным списком литературы. Совместными усилиями можно будет ещё раз доказать верность второго начала термодинамики.

Annotation

By chance, an experiment was performed in which it was found that the compressed gas, passing through the scroll mechanism of the scroll compressor and further compressing, while doing so, made work to generate electricity. This contradicts the second principle of thermodynamics; gas can't perform positive work and at the same time accumulate potential energy of compression. If there is no temperature difference, heat cannot be converted to operation. Energy cannot come from nowhere, it contradicts the law of conservation of energy. There is no unambiguous answer to the question in the title of the article. Only a variant of the answer with an eight-digit number is offered. It is likely that this version of the answer is wrong. Young scientists, scientists, researchers, scientific workers, graduate students and their scientific advisors, university teachers, professors, academicians and other representatives of the scientific community are invited to give their answer option with an eight-digit number of any value, in order to avoid accidental coincidence. This requires writing a scientific article with the same title, but a different eight-digit variant number, the same abstract, the same UDC, the same keywords, the same first part of the article, but with a different article author(s), a different scientific organization, a different second part of the article, and a different reference list. Together we can once again prove the correctness of the second principle of thermodynamics.

Ключевые слова: второе начало термодинамики, закон сохранения энергии, молекулярно-кинетическая теория, энтальпия, спиральный детандер, поречь.

Keywords: second beginning of thermodynamics, law of conservation of energy, molecular-kinetic theory, enthalpy, scroll detander, porech.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Во время работ по установке холодильного оборудования было замечено, что если подать сжатый азот на входе спирального компрессора, то будет вращаться ротор асинхронного электродвигателя, размещённого внутри компрессора.

Схематично спиральный компрессор изображен на рисунке 1.



Рисунок 1. Спиральный компрессор

Известно, что по своей конструкции спиральный детандер аналогичен спиральному компрессору. Иными словами – приобретают спиральный компрессор и делают из него спиральный детандер, для этого удаляют обратный клапан на выходе из спирального механизма, т.к. подачу сжатого воздуха производят из области конденсатора в область испарителя, т.е. в обратную сторону. Ротор при этом крутится в обратную сторону, не в ту сторону, в которую он крутится при работе спирального компрессора, а в обратную. При такой подаче сжатого газа, этот газ в детандере расширяется. Расширяясь, он

совершает работу, приводит в движение асинхронный электрогенератор (асинхронный электродвигатель), вырабатывает таким образом электроток. В процессе расширения молекулы газа теряют часть своей кинетической энергии, газ охлаждается и совершает положительную работу. Всё в полном соответствии с законами термодинамики.

После того, как было замечено, что ротор крутится, если подать сжатый азот в область испарителя, ради интереса было решено включить спиральный компрессор (он же спиральный детандер) в электросеть. После того как детандер был подключён к электросети, верхняя часть его покрылась инеем, а сам азот, выходящий из детандера был холодным.

Как стало известно, что при включении детандера в сеть его верхняя часть охлаждается, ради научного эксперимента, захотелось измерить потребление электроэнергии, узнать сколько при этом расходуется электроэнергии. К экспериментальному детандеру был подключён электросчётчик так, как показано на рисунке 2.

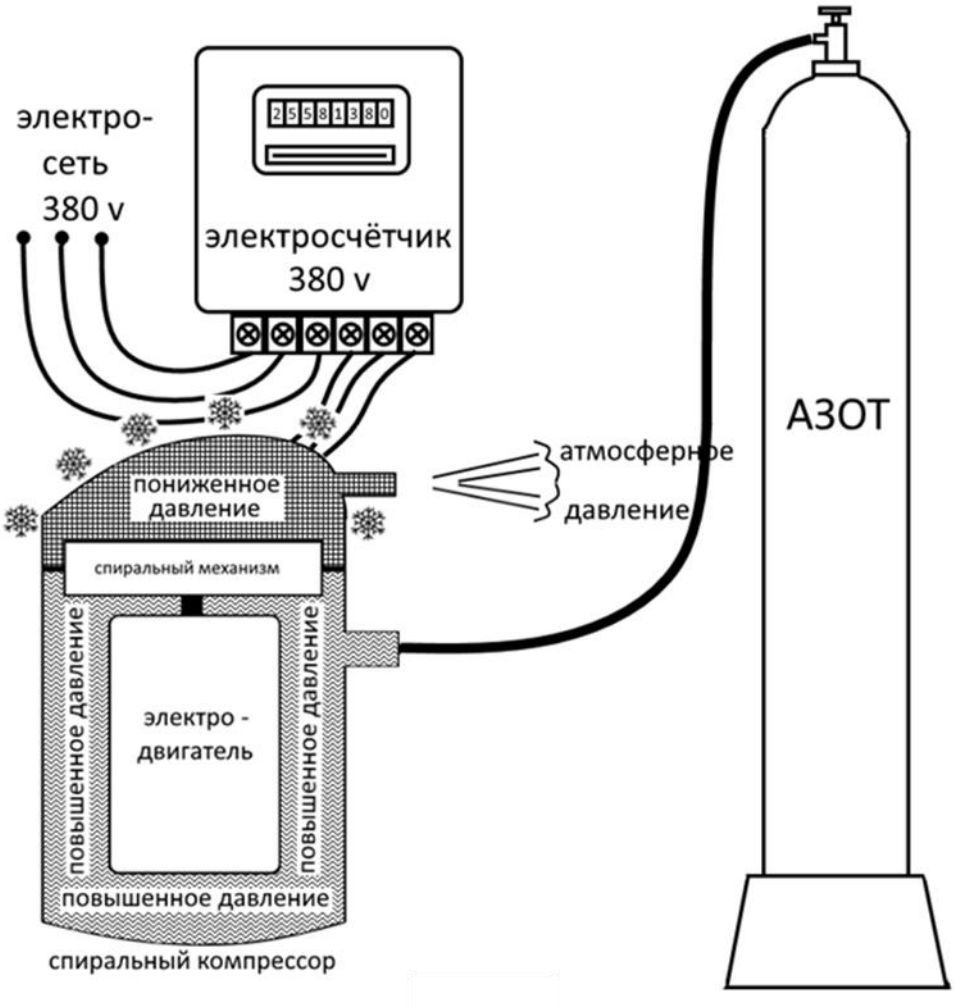

Рисунок 2. Схема эксперимента

На удивление, счётчик стал крутиться в обратную сторону. Это значит, что либо происходит выработка электроэнергии, либо счётчик не так подключён, либо генерируются комплексные токи, которые вращают счётчик в обратную сторону, либо законы термодинамики дают сбой. На проверке выяснилось, что счётчик подключён правильно - если перестать подавать сжатый азот в область испарителя, то детандер, он же спиральный компрессор, начинает потреблять электроэнергию.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

О спиральных компрессорах написано много литературы [1-5]. Они просты в эксплуатации, но сложные в изготовлении, поэтому массовое производство спиральных компрессоров началось только в 80-х годах прошлого столетия.

О спиральных детандерах написано гораздо меньше литературы [6, 7]. Спиральные детандеры не используются в быту, не имеют широкого применения, используются в основном для научных экспериментов и при этом газ в детандер подаётся на расширение, а не на сжатие. Законы термодинамики в этом случае хорошо объясняют, почему газ, расширяясь, совершает работу и охлаждается [8-13]. Причём не только в этом случае, классическая термодинамика объясняет практически всё [14-17], но не работу газа на сжатие

Газ не может сжиматься и при этом совершать положительную работу. Газ при сжатии может совершать только отрицательную работу, т.е. над газом надо совершить работу, потратить энергию, заставить его сжаться; при этом должно происходить не выработка электроэнергии, а её потребление; вся затраченная электроэнергия будет переходить в потенциальную энергию сжатого газа. Значит, несмотря на то, что счётчик крутится в обратную сторону, происходит потребление электроэнергии. А то, что счётчик крутится в обратную сторону, говорит о том что комплексные токи [18] трёхфазной сети [19-24] крутят диск счётчика в обратную сторону.

Может быть какое-то влияние оказывает изобарный процесс, изохорный, изоэнтропийный, изоэнтальпийный, может энтальпия увеличилась, или энтропия, но в любом случае кинетическое движение молекул не может передаваться ротору детандера, если происходит уменьшение объёма секторов, в которых находятся двигающиеся (совершающие кинетическое движение) молекулы. Может молекулы надо рассматривать как систему тождественных неразличимых частиц с дискретным энергетическим спектром [25], или они обладают внутренними модами [26, 29], ондуляторным излучением [27], анизотропной диффузией [28], Ван – дер – Ваальсовым притяжением [30], или всё можно объяснить газодинамическим разгоном тел [31]?

Пока вопросов много, но всё же можно сделать однозначный вывод – несмотря на то, что счётчик крутится в обратную сторону, он производит подсчёт потреблённой, а не произведённой электроэнергии; никакого парадокса в этом

нет, в электросчётчике возникают комплексные токи, они и вращают диск в обратную сторону.

Литература

1. Папилин П.И., Кобзев Е.А., Терехин В.О., Ворохобин А.В. Спиральные компрессоры, их классификация, конструкция и принцип действия // В сборнике: Проблемы совершенствования машин, оборудования и технологий в агропромышленном комплексе. материалы международной научно-технической конференции. 2019. С. 298-302.
2. Шунгаров Э.Х., Протопопов К.В., Гаранов С.А. Характеристики спиральных компрессоров для применения в низкотемпературных воздушных тепловых насосах // Холодильная техника. 2019. № 11. С. 28-32.
3. Timofeev D.V., Malyavina E.G. Computer model of heat pump with a constant rotation frequency of a scroll compressor spiral // Vestnik MGSU. 2017. Т. 12. № 4 (103). С. 437-445.
4. Райков А.А., Якупов Р.Р., Саликеев С.И., Бурмистров А.В. Моделирование тепловых деформаций спиральных элементов безмасляного вакуумного насоса // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. 2015. № 3 (102). С. 92-102.
5. Устенко И.В. Разработка программного обеспечения для геометрического моделирования неподвижного элемента спирального компрессора // Вестник Херсонского национального технического университета. 2014. № 3 (50). С. 615-618.
6. Ишмуратов М.А., Ибрагимов Е.Р., Налимов В.Н., Паранин Ю.А. Оценка показателей спирального детандера // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 4. С. 72-79.
7. Воронов В.А., Леонов В.П., Розеноер Т.М. Испытания спирального детандера // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 1 (13). С. 46.

8. Попов А.М., Мужичек С.М., Скрынников А.А., Попов М.А. Приложения задач газодинамики // Монография / Под редакцией А.М. Попова. Москва, 2019.
9. Иванов В.А., Карпюк Е.А., Гавлина О.Т., Каргов С.И. Роль температурной зависимости энтальпии ионного обмена в прогнозировании поведения ионообменной системы // Журнал физической химии. 2019. Т. 93. № 10. С. 1522-1528.
10. Александров А.А., Архаров А.М., Архаров И.А., Афанасьев В.Н., Бондаренко В.Л., Борисов Б.П., Демихов К.Е., Жердев А.А., Иващенко Н.А., Исаев С.И., Кожинов И.А., Козлов Н.П., Красников В.В., Круглов М.Г., Крутов В.И., Кудрявцев В.М., Кузнецов А.Г., Кутепов А.М., Леонтьев А.И., Леончик Б.И., Манушин Эдуард, Никулин Н.К., Осипов Михаил, Павлихин Г.П., Павлова И.Б., Петражицкий Г.Б., Пластинин П.И., Пылаев А.М., Савинов М.Ю., Солонин В.И., Суровцев Игорь, Хвесюк В.И., Шатров В.И., Шишов В.В., Шевич Ю.А., Шумилов И.С., Ягодников Дмитрий Теплотехника // Учебное пособие Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)" (Москва), 2017.
11. Семенов А.С., Чухин И.М. Отладка и ввод в эксплуатацию двухцелевого лабораторного стенда по определению области применения уравнения Ван-дер-Ваальса и изучению эффекта Джоуля-Томсона // В сборнике: "Энергия-2015". Десятая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных. Сборник конкурсных докладов. 2015. С. 4-6.
12. Харламова А.А., Малова Д.А., Таратина А.А. Термодинамический анализ циклов паротурбинных установок с использованием программных средств // В сборнике: Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых учёных-2015. Сборник материалов конференций. 2015. С. 615-619.

13. Бикчентаева А.Г., Репин В.В., Рольник Л.З. О взаимосвязи термодинамических функций, изучаемых в различных дисциплинах // История и педагогика естествознания. 2014. № 2. С. 23-25.
14. Фокин Л.Р., Кулямина Е.Ю., Зицерман В.Ю. О связи энтропии и теплового расширения при экстремальном сжатии вещества // Журнал физической химии. 2020. Т. 94. № 2. С. 188-194.
15. Демков В.П., Озолин В.В., Солохина Г.Э. Российская аэрокосмическая олимпиада школьников по физике-2014 // Физика. Первое сентября. 2016. № 7-8. С. 43-45.
16. Генденштейн Л.Э., Кошкина А.В. Обучение решению задач методом наводящих вопросов. Молекулярная физика и термодинамика: лекция 1 // Физика. Первое сентября. 2015. № 9. С. 50-54.
17. Мирзоев А.А., Рузанова Г.Е., Мирзаев Д.А., Окишев К.Ю. Взаимодействие вакансий и атомов, образующих в альфа-железе растворы замещения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2013. Т. 13. № 1. С. 108-114.
18. Оморов Т.Т., Осмонова Р.Ч., Курманалиева Р.Н., Такырбашев Б.К. К проблеме идентификации состояний распределительных сетей в системах автоматизации контроля и учета электроэнергии // Автоматизация и управление в технических системах. 2016. № 3 (20). С. 5.
19. Васинкин К.А., Доломанюк Л.В., Степанова Е.М. Компенсатор токов несимметрии в трёхфазных сетях // В сборнике: Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация". Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Казань, 2020. С. 157-159.
20. Антонов Е.Г., Климаш В.С. Электронно-электрический аппарат для подключения конденсаторов к трехфазной сети // В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 3 ч.. Комсомольск-на-Амуре, 2020. С. 179-181.

21. Петров А.В., Костюков Д.А., Мартусенко В.Е., Вахтин А.С. Использование схемы штейнметца для симметрирования трехфазной нагрузки // В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи. Материалы XI Международной научно-технической конференции. В 2-х томах. 2020. С. 254-257.
22. Токарев В.Г., Брованов С.В., Дыбко М.А. Методика вычисления коэффициента гармоник сетевого тока в трехфазной сети // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2020. Т. 23. № 2. С. 116-121.
23. Иньков Ю.М., Савоськин А.Н., Кулинич Ю.М., Колобов В.В. Компенсация реактивной мощности в трехфазных сетях // Электричество. 2018. № 3. С. 18-26.
24. Косоухов Ф.Д., Васильев Н.В., Криштопа Н.Ю., Кузнецова Е.С. Фильтросимметрирующее устройство для снижения потерь от несимметрии токов и повышения качества электрической энергии в сетях 0,38 кв // Электроэнергия. Передача и распределение. 2017. № 2 (41). С. 32-37.
25. Романовский М.Ю. Статистические свойства систем многих частиц с иерархической структурой // ЖЭТФ, 2021, том 159, вып. 2, С. 350–358.
26. Савин С.П., Ляхов В.В., Нещадим В.М., Зеленый Л.М., Немечек З., Шафранкова Я., Климов С.И., Скальский С.А., Рязанцева М.О., Рахманова Л.С., Ванг Ч., Ли Х., Бленцки Я., Рош Ж.-Л., Козак Л., Суворова А., Лежен Л.А. Собственные колебания границы магнитного барьера, обтекаемого плазмой: мембранная модель границы, линейные и нелинейные резонансы и связи с внутренними модами // ЖЭТФ, 2021, том 159, вып. 2, С. 339–349.
27. Шишмарев А.А., Левин А. Д., Багров В. Г., Гитман Д. М., Полуклассическое описание ондуляторного излучения // ЖЭТФ, 2021, том 159, вып. 2, С. 297–306.
28. Кондратенко П. С., Матвеев А. Л., Обухов Ю. Н. Асимптотическая теория анизотропной классической диффузии в неоднородных средах // ЖЭТФ, 2021, том 159, вып. 4, С. 719–723.

29. Герчиков Л. Г., Ипатов А. Н., Вращательная дипольная плазмонная мода в наноразмерных полупроводниковых частицах // ЖЭТФ, 2021, том 159, вып. 6, С. 1047–1069.
30. Ишханян А. М., Крайнов В. П., Ван-дер-Ваальсово притяжение атомов водорода // ЖЭТФ, 2021, том 159, вып. 6, С. 1013–1017.
31. Быков Н.В., Шестаков И.Е., Влияние уширения газового ресивера на баллистические характеристики одноступенчатых установок на сжатом газе // Журнал технической физики, 2020, том 90, вып. 3 С. 365-371.

Literature

1. Papilin P.I., Kobzev E.A., Terekhin V.O., Vorokhobin A.V. Scroll compressors, their classification, design and principle of operation // In the collection: Problems of improving machines, equipment and technologies in the agro-industrial complex. materials of the international scientific and technical conference. 2019.S. 298-302.
2. Shungarov E.Kh., Protopopov K.V., Garanov S.A. Characteristics of scroll compressors for use in low-temperature air heat pumps // Refrigeration technology. 2019.No. 11.P. 28-32.
3. Timofeev D.V., Malyavina E.G. Computer model of heat pump with a constant rotation frequency of a scroll compressor spiral // Vestnik MGSU. 2017.Vol. 12.No. 4 (103). S. 437-445.
4. Raikov A.A., Yakupov R.R., Salikeev S.I., Burmistrov A.V. Modeling of thermal deformations of spiral elements of an oil-free vacuum pump. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. Series Mechanical Engineering. 2015. No. 3 (102). S. 92-102.
5. Ustenko I.V. Development of software for geometric modeling of a fixed element of a scroll compressor // Bulletin of the Kherson National Technical University. 2014. No. 3 (50). S. 615-618.
6. Ishmuratov M.A., Ibragimov E.R., Nalimov V.N., Paranin Yu.A. Estimation of the indicators of the spiral expander // Scientific and technical statements of SPbPU. Natural and engineering sciences. 2018.Vol. 24.No. 4.P. 72-79.

7. Voronov V.A., Leonov V.P., Rosenoer T.M. Spiral Expander Testing // Engineering Journal: Science and Innovations. 2013. No. 1 (13). P. 46.
8. Popov A.M., Muzhichek S.M., Skrynnikov A.A., Popov M.A. Applications of gas dynamics problems // Monograph / Edited by A.M. Popov. Moscow, 2019.
9. Ivanov V.A., Karpyuk E.A., Gavlina O.T., Kargov S.I. The role of the temperature dependence of the enthalpy of ion exchange in predicting the behavior of the ion exchange system // Journal of Physical Chemistry. 2019.Vol. 93.No. 10.S. 1522-1528.
10. Aleksandrov A.A., Arkharov A.M., Arkharov I.A., Afanasyev V.N., Bondarenko V.L., Borisov B.P., Demikhov K.E., Zherdev A.A., Ivaschenko N.A., Isaev S.I., Kozhinov I.A., Kozlov N.P., Krasnikov V.V., Kruglov M.G., Krutov V.I., Kudryavtsev V.M., Kuznetsov A G., Kutepov A.M., Leontiev A.I., Leonchik B.I., Manushin Eduard, Nikulin N.K., Osipov Mikhail, Pavlikhin G.P., Pavlova I.B., Petrazhitsky G.B. ., Plastinin P.I., Pylaev A.M., Savinov M.Yu., Solonin V.I., Surovtsev Igor, Khvesyuk V.I., Shatrov V.I., Shishov V.V., Shevich Yu. A., Shumilov I.S., Yagodnikov Dmitry Heat engineering // Textbook Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University) "(Moscow), 2017.
11. Semenov A.S., Chukhin I.M. Debugging and commissioning of a dual-purpose laboratory bench to determine the field of application of the Van der Waals equation and study the Joule-Thomson effect // In the collection: "Energy-2015". Tenth International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Collection of competitive reports. 2015.S. 4-6.
12. Kharlamova A.A., Malova D.A., Taratina A.A. Thermodynamic analysis of cycles of steam turbine plants using software // In the collection: Lomonosov scientific readings of students, graduate students and young scientists-2015. Collection of conference materials. 2015.S. 615-619.

13. Bikchentaeva A.G., Repin V.V., Rolnik L.Z. On the relationship of thermodynamic functions studied in various disciplines // History and Pedagogy of Natural Science. 2014. No. 2. S. 23-25.
14. Fokin L.R., Kulyamina E.Yu., Zitserman V.Yu. On the relationship between entropy and thermal expansion under extreme compression of matter // Journal of Physical Chemistry. 2020.Vol. 94.No. 2.P. 188-194.
15. Demkov V.P., Ozolin V.V., Solokhina G.E. Russian Aerospace Olympiad for Schoolchildren in Physics-2014 // Physics. First of September. 2016. No. 7-8. S. 43-45.
16. Gendenstein L.E., Koshkina A.V. Learning to solve problems by the method of leading questions. Molecular Physics and Thermodynamics: Lecture 1 // Physics. First of September. 2015. No. 9. S. 50-54.
17. Mirzoev A.A., Ruzanova G.E., Mirzaev D.A., Okishev K.Yu. Interaction of vacancies and atoms forming substitutional solutions in alpha-iron // Bulletin of the South Ural State University. Series: Metallurgy. 2013. T. 13.No. 1.P. 108-114.
18. Omorov T.T., Osmonova R.Ch., Kurmanalieva R.N., Takyrbashev B.K. On the problem of identifying the states of distribution networks in automation systems for control and metering of electricity // Automation and control in technical systems. 2016. No. 3 (20). P. 5.
19. Vasinkin K.A., Dolomanyuk L.V., Stepanova E.M. Unbalance current compensator in three-phase networks // In the collection: Tinchurin readings - 2020 "Energy and digital transformation". Materials of the International Youth Scientific Conference. In 3 volumes. Kazan, 2020.S. 157-159.
20. Antonov E.G., Klimash V.S. Electronic-electrical apparatus for connecting capacitors to a three-phase network // In the collection: Youth and Science: Actual Problems of Fundamental and Applied Research. Materials of the III All-Russian National Scientific Conference of Art students, graduate students and young scientists, at 3 o'clock. Komsomolsk-on-Amur, 2020. S. 179-181.
21. Petrov A.V., Kostyukov D.A., Martusenko V.E., Vakhtin A.S. Using the Steinmetz scheme for balancing a three-phase load // In the collection: Electric

power engineering through the eyes of youth. Materials of the XI International Scientific and Technical Conference. In 2 volumes. 2020.S. 254-257.

22. Tokarev V.G., Brovanov S.V., Dybko M.A. Methodology for calculating the harmonic factor of the network current in a three-phase network // Reports of the Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. 2020.Vol. 23.No. 2.P. 116-121.
23. Inkov Yu.M., Savoskin A.N., Kulinich Yu.M., Kolobov V.V. Compensation of reactive power in three-phase networks // Electricity. 2018.No. 3.P. 18-26.
24. Kosoukhov F.D., Vasiliev N.V., Krishtopa N.Yu., Kuznetsova E.S. Filter balancing device to reduce losses from current asymmetry and improve the quality of electrical energy in grids of 0.38 kV // Electricity. Transmission and distribution. 2017. No. 2 (41). S. 32-37.
25. Romanovsky M.Yu. Statistical properties of systems of many particles with a hierarchical structure // ZhETF, 2021, volume 159, no. 2, pp. 350–358.
26. Savin S.P., Lyakhov V.V., Neshchadim V.M., Zeleny L.M., Nemechek Z., Shafrankova Y., Klimov S.I., Skalsky S.A., Ryazantseva M.O. ., Rakhmanova L.S., Wang Ch., Lee H., Blentski J., Roche J.-L., Kozak L., Suvorova A., Lejeune L.A. Natural oscillations of the boundary of the magnetic barrier in a plasma flow: membrane model of the boundary, linear and nonlinear resonances and connections with internal modes // ZhETF, 2021, volume 159, issue. 2, pp. 339–349.
27. Shishmarev AA, Levin AD, Bagrov VG, Gitman DM, Semiclassical description of undulator radiation // ZhETF, 2021, volume 159, no. 2, pp. 297–306.
28. Kondratenko PS, Matveev AL, Obukhov Yu. N. Asymptotic theory of anisotropic classical diffusion in inhomogeneous media // ZhETF, 2021, volume 159, no. 4, pp. 719–723.
29. Gerchikov L. G., Ipatov A. N., Rotational dipole plasmon mode in nanoscale semiconductor particles // ZhETF, 2021, volume 159, issue. 6, pp. 1047–1069.
30. Ishkhanyan A. M., Krainov V. P., Van der Waals attraction of hydrogen atoms // JETP, 2021, volume 159, issue. 6, pp. 1013–1017.

31. Bykov NV, Shestakov IE, Influence of the broadening of the gas receiver on the ballistic characteristics of single-stage compressed gas installations // Journal of technical physics, 2020, volume 90, issue. 3 S. 365-371.