

УДК 621.56

Обоснование применения способов анализа энергоэффективности внедрения технических решений в области низкотемпературной техники на основе уравнений теплоэнергетического баланса

Канд. техн. наук И. Е. СЯЗИН¹, д-р техн. наук А. В. ГУКАСЯН²

¹isyazin@gmail.com, ²aleksandr_gukasyan@mail.ru

Кубанский государственный технологический университет

Целеполагающей задачей в области физики низких температур по настоящий момент остается решение проблемы повышения и оценки энергоэффективности низкотемпературных машин и установок (холодильных и криогенных машин и установок). Развивающийся в настоящее время эксергетический анализ с точки зрения его информативной глубины является, безусловно, практически безальтернативным методом, однако имеет существенные недостатки: требует довольно большое количество справочных данных, трудоемкий энергозатратный технический расчет, которым занимается высококвалифицированный специалист, в современных условиях частного производства остается редко применимым. По этим причинам актуальным должно считаться применение метода, лишённого перечисленных недостатков. В статье на примере нескольких рационализаторских решений для криогенной и холодильной техники представлен метод анализа энергоэффективности внедрений на основе использования системы уравнений теплоэнергетического баланса. Таким методом предлагается упростить оценку эффективности применения технических решений по сокращению затрат на криогенную и холодильную технику. Предполагается, что оценка выигрыша в работе позволит с течением времени окупить капитальные затраты на осуществление технического решения. Предлагаемый метод отличается высокой скоростью выполнения оценочного расчета, минимальным числом исходных данных, которые требуются для проведения анализа и его приближения к реальным условиям современного производства.

Ключевые слова: уравнение теплоэнергетического баланса, криогенная техника, холодильная техника, энергоэффективность холодильной машины.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 04.11.2022, одобрена после рецензирования 10.01.2023, принята к печати 10.02.2023

DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-93-98

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Сязин И. Е., Гукасян А. В. Обоснование применения способов анализа энергоэффективности внедрения технических решений в области низкотемпературной техники на основе уравнений теплоэнергетического баланса // Вестник Международной академии холода. 2023. № 1. С. 93–98. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-93-98

Substantiating the application of methods for analyzing the energy efficiency from the implementation of technical solutions in the field of low-temperature technology based on the heat and power balance equations

Ph. D. I. E. SYAZIN¹, D. Sc. A. V. GUKASYAN²

¹isyazin@gmail.com, ²aleksandr_gukasyan@mail.ru

Kuban State Technological University

The goal-setting task in the field of low-temperature physics at the moment remains the solution of the problem of increasing and evaluating the energy efficiency of low-temperature machines and installations (refrigeration and cryogenic machines and installations). The currently developing exergy analysis, in terms of its informative depth, is sure to be practically uncontested method, but it has significant drawbacks: it requires a rather large amount of reference data and labor-intensive energy-intensive technical calculations, which are carried out by a highly qualified specialist, and therefore remain rarely applicable in modern conditions of private production. For these reasons, the use of a method devoid of the listed disadvantages should be considered relevant. In the article, by the example of several rationalization solutions for cryogenic and refrigeration equipment, a method for analyzing the energy efficiency of implementations based on the use of a system

of heat and energy balance equations is presented. This method is proposed to simplify the assessment of the effectiveness of the application of technical solutions to reduce the cost of cryogenic and refrigeration equipment. It is assumed that the evaluation of the gain in the work will allow over time to recoup the capital costs for the implementation of the technical solution. The proposed method is characterized by a high speed of the estimated calculation, the minimum number of initial data required for the analysis, and its approximation to the real conditions of modern production.

Keywords: heat energy balance equation, cryogenic technology, refrigeration engineering, energy efficiency of a refrigeration machine.

Article info:

Received 04/11/2022, approved after reviewing 10/01/2023, accepted 10/02/2023

DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-93-98

Article in Russian

For citation:

Syazin I. E., Gukasyan A. V. Substantiating the application of methods for analyzing the energy efficiency from the implementation of technical solutions in the field of low-temperature technology based on the heat and power balance equations. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2023. No 1. p. 93–98. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-93-98

Введение

Криогенная техника на современном этапе развития претерпевает значительные изменения. На первый план выносятся технологии рационального энергосбережения [1]–[4]. Известно большое количество способов сокращения энергопотребления холодильным и криогенным оборудованием []. Определение рациональности внедрения различных технических решений в схемы низкотемпературных установок требует проведение скрупулезного анализа, иначе капитальные затраты на техническое осуществление не смогут окупиться. В частности, самым известным и обоснованным методом является эксергетический анализ [5]–[7], глубина анализа которого позволяет определить эффективность практически любого технического решения в холодильной технике. Однако эксергетический анализ не лишен недостатков, один из которых — довольно сложный, трудоемкий расчет, который не позволяет инженеру-рационализатору в производственных условиях осуществить анализ эффективности технического решения в короткий промежуток рабочего времени и оценить сроки окупаемости капитальных затрат — важной составляющей рационализации.

Цели и задачи исследования

Предлагается в качестве альтернативы применять менее трудоемкий и не менее эффективный метод определения энергетической эффективности внедрения технических решений, применяя за основу анализа уравнения теплоэнергетического баланса. Уравнение теплового и энергетического баланса дают возможность оценить целесообразность и научно обосновать применение рационализаторского решения.

Для решения поставленной в исследовании задачи, предполагается на примере нескольких рационализаторских решений для криогенной и холодильной техники представить метод анализа энергоэффективности внедрений на основе использования системы уравнений теплоэнергетического баланса.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим несколько примеров рациональных технических решений: способ генерации электроэнергии потомком инертного газа в криогенном морозильном

аппарате; способ генерации электроэнергии за счет соединения вала генератора с валом компрессора; устройство внутреннего электропривода для передачи вращающего момента на конвейерную ленту [8, 9].

Проанализируем способ генерации электроэнергии в криогенном морозильном аппарате потомком инертного газа, обеспечивающего посредством крыльчатки, установленной в трубопроводе, вращение ротора генератора (рис. 1). Обозначения, показанные на схеме генерации электроэнергии потомком инертного газа в криогенном морозильном аппарате: А — автомат; В — выпрямитель; А — аккумулятор; И — инвертор; П — предохранитель; К — контроллер; М — электродвигатель с короткозамкнутым ротором; Г — генератор переменного тока.

В верхней части рисунка представлена электрическая схема, в нижней — схема морозильного аппарата, в верхней части которого установлен вентилятор, приводимый во вращение электродвигателем М, ниже него — трубопровод с соплами, и далее — конвейер с замораживаемым продуктом.

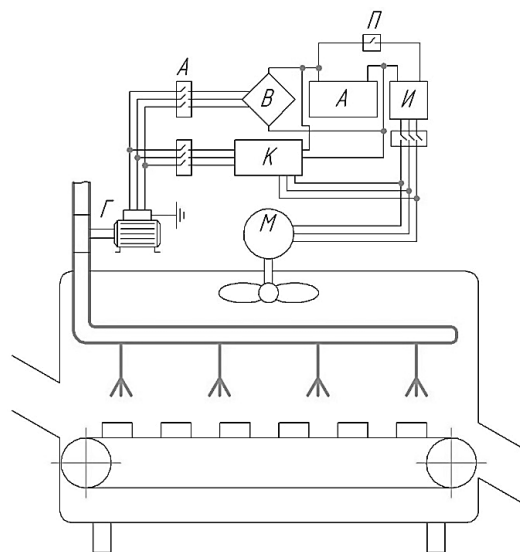


Рис. 1. Схема генерации электроэнергии потомком инертного газа в криогенном морозильном аппарате

Fig. 1. Electrical energy generation by a flow of inert gas in cryogenic regurgitating machine

Эффективность генерации дополнительной электроэнергии потомком инертного газа доказывается следующим уравнением диссипации энергии газа:

$$\Delta = \Delta_{\text{тр}} + \Delta_{\text{ин}} + \Delta_{\text{эц}} + \Delta_{\text{жт}}, \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{тр}}$ — потеря мощности из-за силы трения в подшипниках электродвигателя, Вт; $\Delta_{\text{ин}}$ — потеря мощности из-за силы инерции вала электродвигателя, Вт; $\Delta_{\text{эц}}$ — потеря мощности из-за силы сопротивления электрической цепи (потери мощности цепи), Вт; $\Delta_{\text{жт}}$ — потери мощности из-за трения между газом и крыльчаткой (пластиковый внешний ротор с уплотнителем), Вт.

При этом, как оказывается, диссипация энергии не является однозначно нежелательным явлением

$$\Delta_{\text{дисс}} \neq \Delta_{\text{пол}}, \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{дисс}}$ — бесполезно потерянная энергия, Вт; $\Delta_{\text{пол}}$ — полезная энергия, полученная при реализации способа, Вт.

Сумма потерь энергии, соответственно:

$$\Sigma \Delta = \Delta_{\text{дисс}} + \Delta_{\text{пол}}, \quad (3)$$

$$\Delta_{\text{дисс}} = \Delta_{\text{тр}} + \Delta_{\text{ин}} + \Delta_{\text{эц}}, \quad (4)$$

$$\Delta_{\text{пол}} = \Delta_{\text{жт}}. \quad (5)$$

Таким образом, энергоэффективность способа:

$$E = f(F_{\text{эл}}, F_{\text{эц}}, F_{\text{кр}}), \quad (6)$$

где $F_{\text{эл}}$ — силы от сопротивления механизмов электродвигателя, Н; $F_{\text{эц}}$ — силы от сопротивления электрической цепи электродвигателя, Н; $F_{\text{кр}}$ — силы от трения между газом и пластиковым внешним ротором с уплотнителем (крыльчаткой), является функцией сил сопротивления механизмов электродвигателя, сопротивления электрической цепи электродвигателя и трения между газом и крыльчаткой, отсюда

$$\Delta_{\text{пол}} = f(F_{\text{кр}}), \quad (7)$$

значит таким способом будет получен полезный эффект, поскольку скорость газа практически не меняется и не является важной функцией процесса. Другими словами, кинетическая энергия газа не является функцией качества процесса замораживания.

Через известное уравнение кинетической теории газов можно определить энергию, передаваемой механизмам Δ :

$$\frac{mv^2}{2} k = \Delta, \quad (8)$$

где k — коэффициент, определяющий количество используемой кинетической энергии проходящего через крыльчатку газа.

$$\Sigma \Delta = f\left(k, \frac{mv^2}{2}\right). \quad (9)$$

Коэффициент k можно выразить как произведение коэффициентов трения между газом и твердым телом $k_{\text{тр}}$ и усилия, развиваемого газом вследствие механического воздействия на крыльчатку вала генератора $k_{\text{мех}}$:

$$k = k_{\text{тр}} k_{\text{мех}}, \quad (10)$$

при этом коэффициент $k_{\text{мех}}$ определяется отношением полного усилия, развиваемого газом $F_{\text{пол}}$ к механическому полезному механическому усилию $F_{\text{мех}}$:

$$k_{\text{мех}} = F_{\text{пол}} / F_{\text{мех}}. \quad (11)$$

Сила $F_{\text{пол}}$, действующая на крыльчатку, и соответствующая ей работа $L_{\text{пол}}$ и энергия $E_{\text{пол}}$, эквивалентная $\Delta_{\text{пол}}$:

$$F_{\text{пол}} = mv\eta \frac{dv}{ds}, \quad (12)$$

где mv — импульс, передаваемый газом (при начальной скорости газа); dv — изменение скорости газа; ds — элементарное перемещение газа; η — коэффициента вязкости газа.

$$L_{\text{пол}} = F_{\text{пол}} s, \quad (13)$$

где s — вращение крыльчатки, соответствующее (пересчитанное на значение величины линейного перемещения).

$$E_{\text{пол}} = L_{\text{пол}} / t, \quad (14)$$

где t — время.

Силы $F_{\text{дисс}}$ сопротивления (механические) и, соответствующая им работа $L_{\text{дисс}}$ и мощность $W_{\text{дисс}}$, эквивалентная $\Delta_{\text{дисс}}$ (не включая в расчет электрическую величину — сопротивление цепи R)

$$F_{\text{дисс}} = \mu F_{\text{тр}} + F_{\text{ин}}, \quad (15)$$

где μ — коэффициент трения в подшипниках; $F_{\text{тр}}$ — сила трения; $F_{\text{ин}}$ — сила инерции вала,

$$F_{\text{дисс}} = \mu N + |ma|, \quad (16)$$

где N — сила нормального давления на подшипник; m — количественное значение вращающихся масс (кг); a — полное ускорение вала,

$$L_{\text{дисс}} = \mu N \cdot s + |m \cdot a \cdot s|, \quad (17)$$

где s — перемещение.

Угол поворота вала при частоте вращения z :

$$\varphi = 2\pi z, \text{ рад}. \quad (18)$$

$$L_{\text{дисс}} = \mu N \varphi + |m \cdot a \varphi|, \quad (19)$$

если при этом линейная скорость v на максимальном радиусе r вала равна

$$v = \omega r, \text{ м/с}, \quad (20)$$

а угловая скорость вращения ω при этом

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \text{ рад/с}, \quad (21)$$

то

$$L_{\text{дисс}} = \frac{\mu N v}{t} + \frac{m \cdot a \cdot v}{t} = \frac{v(\mu N + m \cdot a)}{t}, \quad (22)$$

тогда мощность $W_{\text{дисс}}$

$$W_{\text{дисс}} = \frac{v(\mu N + m \cdot a)}{t^2}, \quad (23)$$

однако, если включить также в последнее уравнение силу сопротивления электрической цепи UI (напряжение и силу тока), то получим:

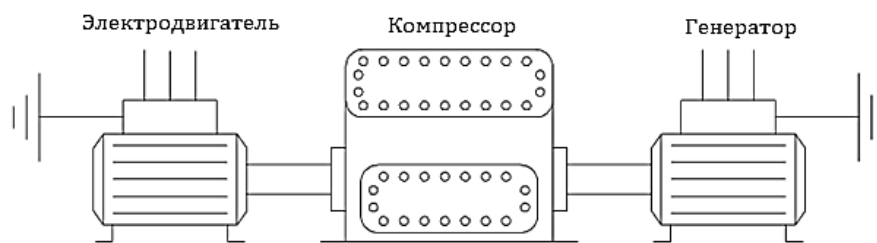


Рис. 2. Схема генерации электроэнергии за счет соединения вала генератора с валом компрессора

Fig. 2. Electrical energy generation due to the connection of generator shaft with compressor shaft

$$W_{\text{дисс}} = \frac{v(\mu N + m \cdot a)}{t^2} + U \cdot I, \quad (24)$$

при условии, что

$$W_{\text{дисс}} = W_{\text{мех}} + W_{\text{эл}}, \quad (25)$$

где $W_{\text{мех}}$ — механическая мощность; $W_{\text{эл}}$ — электрическая мощность.

Рассмотрим следующий способ, в котором генерация электроэнергии производится за счет соединения вала генератора с валом компрессора, вращательный момент которого обеспечен жестким соединением с валом ротора трехфазного короткозамкнутого электродвигателя (рис. 2). Обозначения, показанные на схеме генерации электроэнергии за счет соединения вала генератора с валом компрессора.

Электрическая схема способа, представленного на рис. 2, такая же, как на рис. 1.

Математическое уравнение энергетического баланса для второго способа выглядит следующим образом:

$$\Sigma E = E_{\text{тр}} + E_{\text{ин}} + E_{\text{кр}} + E_{\text{тр. г}} + E_{\text{эл}}, \quad (26)$$

где $E_{\text{тр}}$ — энергия, затрачиваемая на преодоление сил трения в кинематических парах (узлах трения) компрессора; $E_{\text{ин}}$ — энергия, затрачиваемая на силы инерции компрессора; $E_{\text{кр}}$ — энергия, затрачиваемая на преодоление инерции кривошипно-шатунного механизма компрессора в процессе его пуска; $E_{\text{тр. г}}$ — энергия, затрачиваемая на преодоление сил трения в кинематических парах (узлах трения) генератора; $E_{\text{эл}}$ — энергия, затрачиваемая на преодоление сопротивления цепи (в том числе диссипация электрической энергии вследствие нагревания проводника).

Накопленная таким способом электроэнергия при использовании генератора переменного тока может выглядеть следующим образом.

Генерация переменного тока → Выпрямление тока (преобразование переменного электрического тока в постоянный) → Аккумулятор (накопитель энергии) → Инвертирование (преобразование постоянного электрического тока в переменный) → Трансформация (повышение напряжения) → Трехфазная трансформация (деление одной фазы на три) → Стабилизация (стабилизация напряжения).

При использовании генератора постоянного тока схема несколько упрощается. Учитывая сопротивление элементов всей электрической цепи, получим уравнение:

$$R_{\text{эл}} = R_{\text{внутр}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{выпр}} + R_{\text{акк}} + R_{\text{инв}} + R_{\text{тран}} + R_{\text{тран3}} + R_{\text{стаб}}, \quad (27)$$

где, соответственно, $R_{\text{внутр}}$, $R_{\text{пр}}$, $R_{\text{выпр}}$, $R_{\text{акк}}$, $R_{\text{инв}}$, $R_{\text{тран}}$, $R_{\text{тран3}}$, $R_{\text{стаб}}$ — внутреннее сопротивление генератора, проводов, выпрямителя, аккумулятора, инвертора, одно- и трехфазного трансформаторов, стабилизатора. Отсюда уравнение диссипации энергии:

$$\Delta_{\text{эл}} = \Delta_{\text{внутр}} + \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{выпр}} + \Delta_{\text{акк}} + \Delta_{\text{инв}} + \Delta_{\text{тран}} + \Delta_{\text{тран3}} + \Delta_{\text{стаб}}, \quad (28)$$

Использование внутреннего электропривода для передачи вращающего момента на конвейерную ленту представлен на рис. 3. Обозначения, показанные на схеме внутреннего электропривода для передачи вращающего момента на конвейерную ленту: 1 — корпус барабана конвейерной ленты; 2 — корпус электродвигателя; 3 — статор; 4 — ротор; 5 — подшипник; 6 — соединение вала ротора со ступицей барабана; 7 — лента конвейерная.

В данном типе привода конвейерной ленты морозильного аппарата вместо электродвигателя предлагается использовать внутренний ротор, приводящий в движение внешний конвейерный барабан морозильного аппарата. Если генерируемая мощность ротора высокая, то частоту вращения следует уменьшить путем отвода части электроэнергии, либо изменить передаточное число ступицы с шестерней (или шпонкой).

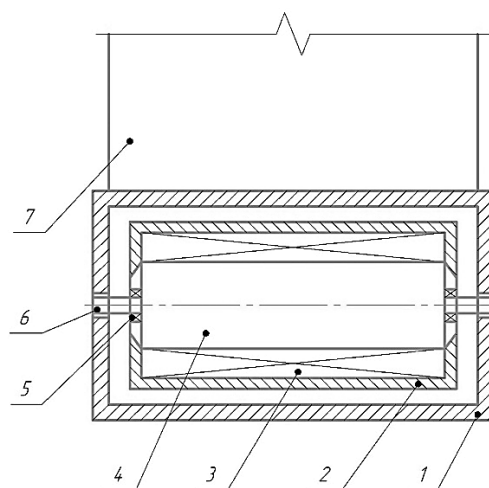


Рис. 3. Схема внутреннего электропривода для передачи вращающего момента на конвейерную ленту
Fig. 3. Internal electric drive for torque transfer to the conveyor belt

Энергетический выигрыш в данном случае определяется сокращением диссипации энергии в подшипниковых узлах. Уравнение энергетического баланса для 3-го способа:

$$\Sigma E = E_{кр} + E_{эл} + E_{п}, \quad (29)$$

где $E_{кр}$ — энергия, затрачиваемая на преодоление инерции механизма в процессе его пуска; $E_{эл}$ — энергия, затрачиваемая на преодоление сопротивления цепи генератора; $E_{п}$ — энергия, затрачиваемая на работу перемещения вдоль конвейерной ленты.

Если сравнивать предлагаемый способ со способом передачи вращающего момента через, например, муфту или шпонку, то уравнение энергетического баланса выглядит так:

$$\Sigma E = E_{кр} + E_{эл} + E_{п} + E_{п} + E_{м}, \quad (30)$$

где $E_{п}$ — энергия, затрачиваемая на преодоление сил трения дополнительный пары подшипников; $E_{м}$ — энергия, затрачиваемая на преодоление инерции дополнительной массы деталей.

Кроме перечисленных способов в зависимости от специфики конструкции и работы холодильного оборудования можно продумать еще достаточное количество способов сокращения затрат на холодильное оборудование и повышение эффективности его работы.

Таким образом, учитывая, что в итоге определением целесообразности внедрения технических решений по сокращению затрат на хладагент и электроэнергию является экономическая эффективность полученных результатов, энергоэффективность технических решений может производиться посредством составления уравнений теплоэнергетического баланса.

Литература

1. Сязин И. Е., Касьянов Г. И., Гукасян А. В., Шамаров М. В. Автоматическая защита от гидроудара и повышение эффективности поршневого холодильного компрессора: монография. Краснодар: Изд-во «КубГТУ», 2022. 256 с.
2. Abdulrahman Almutairi, Pericles Pilidis and Nawaf Al-Mutawa. Energetic and Exergetic Analysis of Combined Cycle Power Plant: Part-1 Operation and Performance. // *Energies*. 2015. No 8. P. 14118–14135. doi:10.3390/en81212418
3. Rozhentsev A., Naer V. Investigation of the starting modes of the lowtemperature refrigerating machines working on the mixtures of refrigerants // *International journal of refrigeration*. 2009. Vol. 32. p. 901–910.
4. Fazelpour F., Morosuk T. Exergoeconomic analysis of carbon dioxide transcritical refrigeration machines // *International journal of refrigeration*. 2014. Vol. 38, P. 128–129.
5. Малышев А. А., Татаренко Ю. В., Киреев В. С. Эксергетический анализ теплонасосных установок для различных климатических условий // *Вестник Международной академии холода*. 2019. № 1. С. 22–28
6. Хрёкин А. С., Баранов И. В. Сравнительный анализ эффективности циклов холодильных машин. // *Вестник Международной академии холода*. 2021. № 1. С. 12–21. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-12-21
7. Морозюк Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. Одесса: Студия «Негоциант», 2006. 712 с.
8. Сязин И. Е., Касьянов Г. И. Современные проблемы и пути совершенствования холодильной техники и технологии // *Холодильная техника*. № 4. 2018. С. 50–51.
9. Сязин И. Е. Техничко-технологические решения по проблемам криообработки пищевого сырья: монография / И. Е. Сязин, Г. И. Касьянов, Н. В. Гаврилина. Краснодар: Экоинвест, 2017. 110 с.

References

1. Syazin I. E., Kasyanov G. I., Ghukasyan A. V., Shamarov M. V. Automatic protection against water hammer and improving the efficiency of a reciprocating refrigeration compressor: monograph. Krasnodar: Publishing House of «KubGTU», 2022. 256 p. (in Russian)
2. Abdulrahman Almutairi, Pericles Pilidis and Nawaf Al-Mutawa. Energetic and Exergetic Analysis of Combined Cycle Power Plant: Part-1 Operation and Performance. *Energies*. 2015. No 8. P. 14118–14135. doi:10.3390/en81212418
3. Rozhentsev A., Naer V. Investigation of the starting modes of the lowtemperature refrigerating machines working on the mixtures of refrigerants. *International journal of refrigeration*. 2009. Vol. 32. p. 901–910.
4. Fazelpour F., Morosuk T. Exergoeconomic analysis of carbon dioxide transcritical refrigeration machines. *International journal of refrigeration*. 2014. Vol. 38, P. 128–129.
5. Malyshev A. A., Tatarenko Yu. V., Kireev S. V. Exergetic analysis of heat pump units for various climate conditions. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2019. No 1. p. (in Russian)
6. Khryokin A. S., Baranov I. V. Comparative analysis of the efficiency of refrigeration machine cycles. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021. No 1. p. 12–21. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-12-21. (in Russian)
7. Morozyuk T. V. Theory of refrigeration machines and heat pumps. Odessa: Studio «Negotiant», 2006. 712 p. (in Russian)
8. Syazin I. E., Kasyanov G. I. Modern problems and ways with the discovery of refrigeration equipment and technologies. *Kholodilnaya tekhnika*. no 4. 2018. pp. 50–51. (in Russian)
9. Syazin I. E. Technical and technological solutions for the problems of cryoprocessing of food products: monograph / I. E. Syazin, G. I. Kasyanov, N. V. Gavrilina. Krasnodar: Ecoinvest, 2017. 110 p. (in Russian)

Сведения об авторах

Сязин Иван Евгеньевич

К. т. н., доцент кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения Кубанского государственного технологического университета, 350020, г. Краснодар, ул. Красная, 135, 1syazin@gmail.com.
ORCID 0000-0003-3939-7722

Гукасян Александр Валерьевич

Д. т. н., доцент, директор Института механики, робототехники, инженерии транспортных и технических систем Кубанского государственного технологического университета, 350020, г. Краснодар, ул. Красная, 135, aleksandr_gukasyan@mail.ru.
ORCID 0000-0003-3622-448X

Information about authors

Syazin Ivan E.

PhD, Associate Professor of Technological Equipment and Life Support Systems Department of Kuban State Technological University, Post index 350020, Krasnodar, 135 Krasnaya St., 1syazin@gmail.com.
ORCID 0000-0003-3939-7722

Gukasyan Aleksandr V.

Dr. Sc., Associate Professor, Director of the Institute of Mechanics, Robotics, Engineering of Transport and Technical Systems of Kuban State Technological University, Post index 350020, Krasnodar, 135 Krasnaya St., aleksandr_gukasyan@mail.ru. ORCID 0000-0003-3622-448X



Статья доступна по лицензии

Creative Commons «Attribution-NonCommercial»

Требования к рукописям, представляемым в журнал «Вестник МАХ»

- В начале статьи, слева – УДК;
- После названия статьи – авторы с указанием места работы и контактной информации (e-mail);
- Аннотация должна содержать от 150 до 200 слов. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Ключевые слова – 5-7.
- **СТАТЬЯ ДОЛЖНА БЫТЬ СТРУКТУРИРОВАНА:**

Во введении необходимо представить содержательную постановку рассматриваемого вопроса, провести краткий анализ известных из научной литературы решений (со ссылками на источники), дать критику их недостатков, показать научную новизну и преимущество (особенности) предлагаемого подхода.

В основном тексте статьи должна быть представлена строгая постановка решаемой задачи, изложены и обстоятельно разъяснены (доказаны) полученные утверждения и выводы, приведены результаты экспериментальных исследований или математического моделирования, иллюстрирующие сделанные утверждения.

В заключении (Выводы) необходимо кратко сформулировать основные результаты, прокомментировать их и, если возможно, указать направления дальнейших исследований и области применения.

- статьи представляются набранными на компьютере в текстовом редакторе Word 97-2007 на одной стороне листа через 1,5 интервала, размер шрифта 14.
- объем статьи 15–20 страниц (формат А4, вертикальный, 210x297 мм), включая аннотацию, рисунки, литературу; поля: левое – 2 см, правое – 2 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2 см;
- формулы и отдельные символы набираются с использованием редактора формул MathType (Microsoft Equation), **не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab.**
- Список литературных источников должен быть оформлен по ГОСТу и содержать ссылки только на опубликованные работы. Самоцитирование не более 25%, список литературы должен содержать источники не старше 5 лет и включать в себя зарубежные публикации по данной тематике. Номера ссылок в тексте должны идти строго по порядку их цитирования и заключаться в квадратные скобки. Количество пристатейных ссылок не менее 15-20.

Статьи, оформленные с нарушением правил, редакцией не принимаются и возвращаются авторам без рассмотрения по существу. Автор гарантирует отсутствие плагиата и иных форм неправомерного заимствования результатов других произведений.

Данные об аффилировании авторов (author affiliation).

На отдельной странице предоставляются сведения об авторах на русском и английском языках: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), должности основного места работы (учебы); наименование и почтовые адреса учреждений, в которых работают авторы, e-mail.

Статьи принимаются на магнитном носителе и в печатном экземпляре или высылаются на электронный адрес редакции vestnikmax@rambler.ru

Плата за публикации не взимается

Дополнительная информация для авторов на сайте <http://vestnikmax.com>