

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.122>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТАКТНОСТИ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЕГО ПЕРВОНАЧАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Научная статья

Горшкалев А.А.<sup>1,\*</sup>, Орлов М.Ю.<sup>2</sup>, Урлапкин В.В.<sup>3</sup>, Корнеев С.С.<sup>4</sup>, Орлова Е.В.<sup>5</sup>

<sup>4</sup>ORCID : 0000-0001-8359-0146;

<sup>1,2,3,4,5</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (agorsh[at]bk.ru)

### Аннотация

При проектировании поршневого двигателя с точки зрения его трудоёмкости большое значение играет набор исходных данных в техническом задании. В большинстве случаев там уже указан вид топлива, количество цилиндров, количество тактов, тип системы охлаждения, мощность и т. д. Однако, иногда имеет место ситуация, когда первоначальное проектирование ведётся в условиях отсутствия некоторых из перечисленных выше исходных данных. В данной работе приведены результаты опытно-конструкторской работы по проектированию поршневого двигателя для беспилотного летательного аппарата, по результатам которой была разработана методика определения количества тактов для проектируемого двигателя с учётом данных технического задания.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, количество тактов, мощность, высотная характеристика двигателя, проектирование двигателя.

## DETERMINING THE CYCLE RATE OF A RECIPROCATING ENGINE IN ITS INITIAL DESIGN

Research article

Gorshkalev A.A.<sup>1,\*</sup>, Orlov M.Y.<sup>2</sup>, Uralapkin V.V.<sup>3</sup>, Korneev S.S.<sup>4</sup>, Orlova E.V.<sup>5</sup>

<sup>4</sup>ORCID : 0000-0001-8359-0146;

<sup>1,2,3,4,5</sup> Samara National Research University, Samara, Russian Federation

\* Corresponding author (agorsh[at]bk.ru)

### Abstract

When designing a reciprocating engine in terms of its labour intensity, the set of initial data in the technical specification plays a significant role. In most cases, the type of fuel, number of cylinders, number of cycles, type of cooling system, power, etc. are already specified. However, sometimes there is a situation when the initial design is carried out in the absence of some of the input data. This paper presents the results of experimental design work on the development of a piston engine for an unmanned aerial vehicle, which resulted in the establishment of a methodology to determine the number of cycles for the designed engine, taking into account data from the terms of references.

**Keywords:** internal combustion engine, number of cycles, power, high-altitude engine characteristic, engine design.

### Введение

При проектировании поршневого двигателя на трудоёмкость процесса большое влияние оказывает набор исходных данных в техническом задании. В большинстве случаев, там уже указаны такие параметры, как вид топлива, количество цилиндров, количество тактов, тип системы охлаждения, мощность и т. д. Это позволяет, выполнив тепловой, кинематический, динамический расчёты, окончательно определиться с конструкцией, рассчитать её прочность и перейти к изготовлению опытного образца. В испытаниях последнего определяется соответствие его параметров и характеристик заданным, и оценивается правильность выбранных технических решений [1], [2], [3], [4].

Однако, иногда имеет место ситуация, когда первоначальное проектирование ведётся в условиях отсутствия некоторых из перечисленных выше исходных данных. Особую сложность представляет случай, когда неизвестно, какого типа необходимо спроектировать двигатель – двух- или четырёхтактный. Совершенно очевидно, что отсутствие подобной информации не позволяет даже приступить к прорисовке конструкции, не говоря уже о тепловом и последующих расчётах.

Такая проблема возникла при проектировании авиационного поршневого двигателя для беспилотного летательного аппарата. В данной работе предложен подход к решению подобных задач, опробованный на практике.

### Основные результаты

В настоящее время, поскольку длительность создания нового двигателя существенно (в 1,5-2 раза и более) превышает время разработки летательного аппарата, то разработку двигателя было решено начать с опережением. Из исходных данных для проектирования первоначально была указана только мощность двигателя у земли-2 кВт. При этом превышение мощности двигателя приветствовалось, а её занижение считалось недопустимым. Мощность на высоте должна была быть обозначена во время проектирования летательного аппарата, и соответственно, при более точном определении его характеристик. В сложившихся условиях для проектирования двигателя было важно определиться с его рабочим объёмом и количеством тактов.

Вначале были всесторонне проанализированы конструкции двухтактных и четырёхтактных двигателей, близких по мощности к проектируемому, выявлены их достоинства и недостатки [5], [7], [8], [9]. Дополнительно, с помощью методик [10] был выполнен цикл расчётов для двигателей обеих схем, в ходе которых были получены данные о необходимом рабочем объёме двигателей для достижения заданной мощности при различных максимальных оборотах. Такой график для четырёхтактного двигателя приведен на рисунке 1.

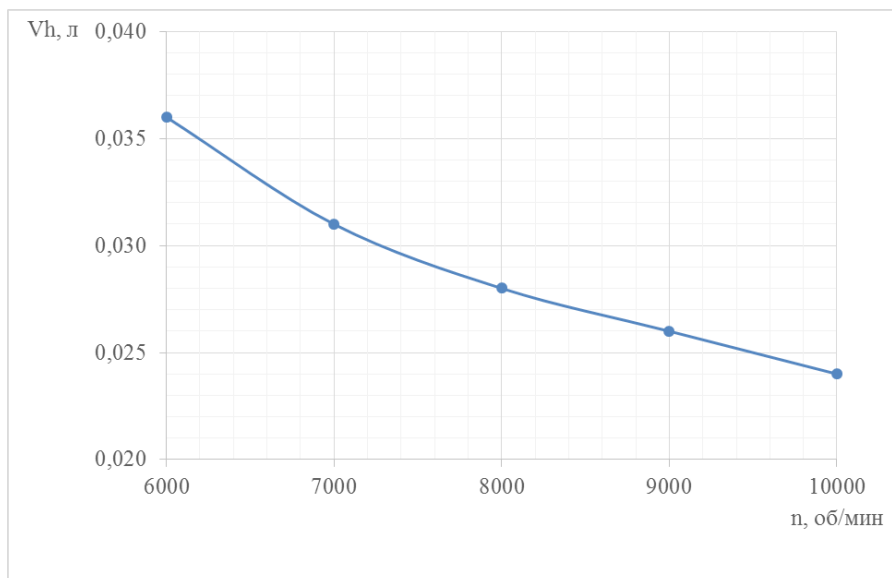


Рисунок 1 - Зависимость необходимого рабочего объёма от максимальных оборотов для достижения мощности 2 кВт  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.122.1>

Поскольку изначально из теории двигателей внутреннего сгорания было известно, что при одинаковых рабочем объёме и оборотах коленчатого вала мощность двухтактного двигателя будет выше, чем четырёхтактного, то цель выполненных расчётов состояла в определении конкретных числовых значений.

На момент выполнения перечисленных выше действий стало появляться представление о необходимой высотности двигателя. С увеличением высоты полёта снижаются температура, давление и плотность окружающей среды. Из-за этого с подъемом на высоту уменьшается и весовой заряд, а соответственно уменьшается и мощность двигателя. Поскольку проектируемый двигатель, из-за отсутствия приводного нагнетателя или агрегата турбонаддува не может сохранять свою номинальную мощность с подъемом на высоту, он является невысотным. Поскольку падение мощности с высотой у таких двигателей очень велико и может достигать в зависимости от высоты два раза и более при тех же оборотах коленчатого вала, стала очевидной необходимость её оценки. Для двухтактного и четырёхтактного двигателей были произведены расчеты на ЭВМ с целью определения зависимости мощности и часового расхода топлива от высоты полета, результаты которых представлены на рисунке 2.

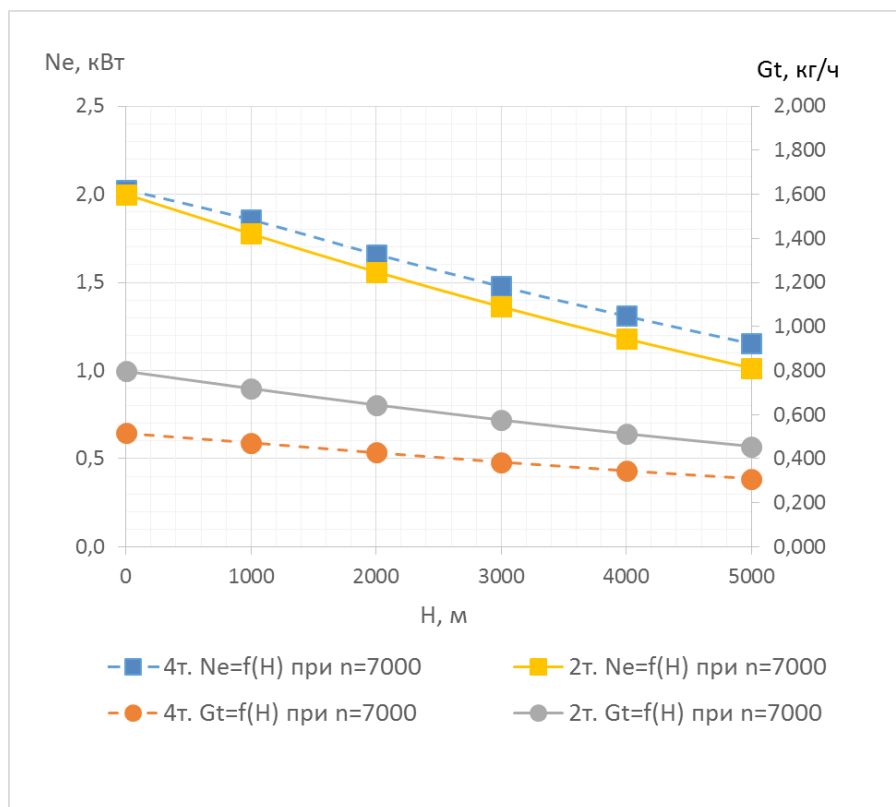


Рисунок 2 - Зависимость мощности и расхода топлива двух- и четырёхтактных двигателей от высоты  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.122.2>

Из приведенных графиков видно, что с увеличением высоты полета мощность и двух- и четырёхтактного двигателя снижается и на высоте 5000 м становится примерно в два раза ниже 2 кВт. При этом расход топлива двухтактного двигателя примерно на 30% выше, чем у четырёхтактного, а рабочий объём – существенно меньше. В двигателях без наддува сохранение номинальной мощности до определенной высоты обеспечивается за счёт того, что двигатель выполняется «переразмеренным». Рабочий объём такого двигателя избыточно велик для получения номинальной мощности на уровне земли. Максимальную мощность такой двигатель развивает на высоте, а на земле дросселируется до номинальной мощности, постоянство которой с высотой поддерживается путем открытия дроссельной заслонки.

Для обеспечения заданной мощности двигателя в условиях полета на высотах до 5 км на номинальном режиме работы 7000 об/мин, было принято решение об увеличении рабочего объема двигателя до 40 см<sup>3</sup>. При данном рабочем объёме четырёхтактный двигатель на номинальном режиме работы 7000 об/мин имеет мощность 2,4 кВт, двухтактный двигатель 2,8 кВт.

Были произведены расчеты с целью определения зависимости мощности и часового расхода топлива от высоты полета для двухтактного и четырёхтактного двигателя с вышеуказанным рабочим объёмом (рисунок 3).

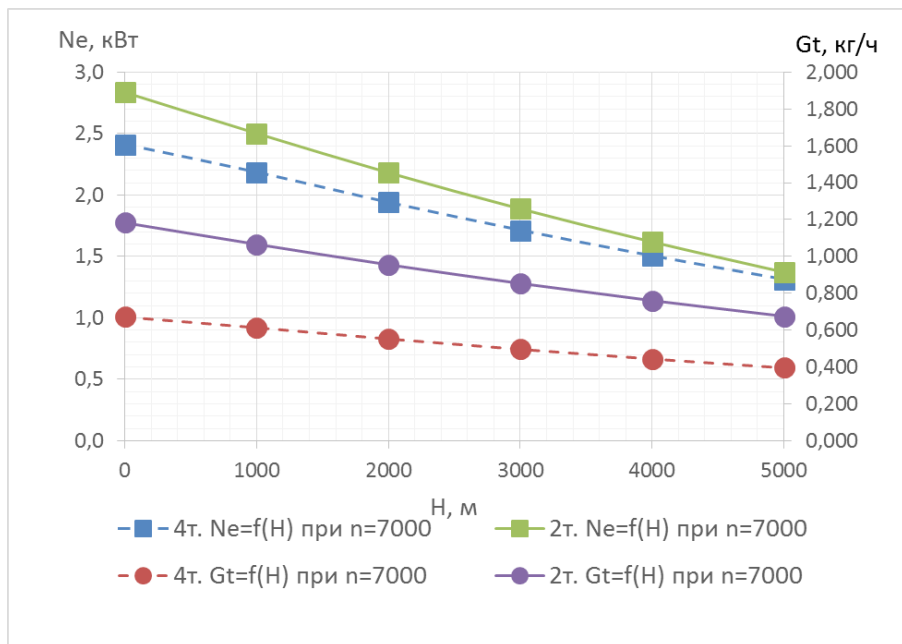


Рисунок 3 - Зависимость мощности и часового расхода топлива от высоты полета при  $V_h=0,040$  л  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.122.3>

Из графиков следует, что при прочих равных условиях мощность двухтактного двигателя выше, чем четырехтактного. При изменении высоты полета от 0 до 5 км мощность двухтактного двигателя изменяется в диапазоне от 2,8 до 1,4 кВт, что удовлетворяет требованиям разработчика летательного аппарата.

На основании вышеприведенных рассуждений для дальнейших расчетов был принят рабочий объем двигателя, равный  $40 \text{ см}^3$ . Целью их проведения стало сравнение двухтактного и четырехтактного двигателей с заданным рабочим объемом в диапазоне рабочих оборотов от 1000 до 8000 об/мин для определения мощности и часового расхода топлива (рисунок 4).

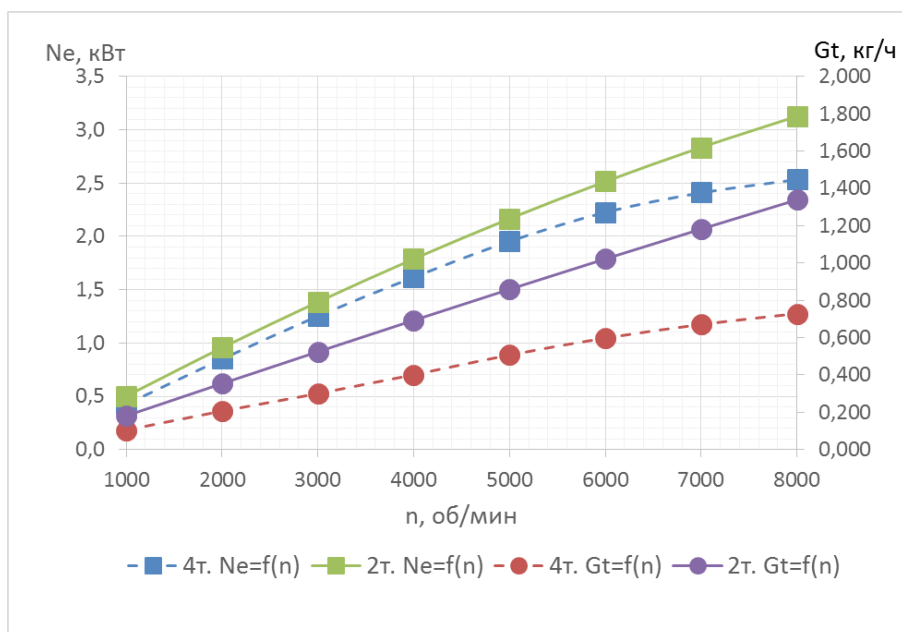


Рисунок 4 - Зависимость мощности и часового расхода топлива от режима работы двигателя при  $V_h=0,040$  л  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.122.4>

Из графиков следует, что при прочих равных условиях мощность двухтактного двигателя выше, чем четырехтактного на всем диапазоне режимов работы. При изменении рабочих оборотов двигателя от 1000 до 8000 об/мин мощность двухтактного ДВС изменяется от 0,5 до 3,1 кВт, а четырехтактного двигателя соответственно в диапазоне 0,4-2,5 кВт.

Выполненная оценка массогабаритных характеристик показала, что из-за простоты конструкции, воздушной системы охлаждения и отсутствия сложной системы газораспределения масса двухтактного двигателя оказалась примерно на 30% меньше четырёхтактного. Это компенсировало более высокий расход топлива. Кроме того,

форсировать по оборотам двухтактный двигатель для повышения мощности в перспективе легче. В итоге в основу проектируемого двигателя была положена двухтактная схема.

### Заключение

По результатам выполнения данной опытно-конструкторской работы была выработана следующая методика определения тактности при проектировании невысокого двигателя.

1. В исходных данных обязательно наличие конкретного значения мощности на максимальной высоте полёта летательного аппарата.
2. Исходя из этой мощности и выбранной на основе анализа технологических возможностей опытного и серийного производства соответствующей ей частоте вращения коленчатого вала выполняют тепловой расчёт для двух- и четырёхтактных двигателей для максимальной высоты полёта.
3. На основе определенного рабочего объёма с учётом статистических данных по известным двигателям оцениваются массогабаритные характеристики двух- и четырёхтактных двигателей.
4. С учётом рассчитанных значений массовых расходов топлива, заданной дальности полёта и веса двигателя проводится сравнение массы силовой установки для двух- и четырёхтактных двигателей.
5. По результатам выполненных действий и с учётом дополнительных требований (при наличии) выбирается тактность проектируемого двигателя.

### Финансирование

Работа выполнена в целях реализации Программы развития Самарского университета на 2021- 2030 годы в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» по соглашению № ПР-НУ/2.1-06-2022

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Funding

This paper was written for the Samara University Development Program 2021-2030 as part of the "Priority 2030" strategic academic leadership program under Agreement No. PR-NU/2.1-06-2022.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Авиационные материалы. Справочник ВИАМ в девяти томах (издание 6-е, переработанное и дополненное). — М: ОНТИ, 1989.
2. EVO20GX2 Usermanual. — URL: [https://www.horizonhobby.com/pdf/EVOE20GX2-Manual\\_EN.pdf](https://www.horizonhobby.com/pdf/EVOE20GX2-Manual_EN.pdf) (accessed: 20.09.2022)
3. Orlov M.Y. Optimization of fuel distribution in the combustion chambers / M.Y. Orlov, V.M. Anisimov, D.N. Dmitriev // AIP Conference Proceedings. — 2020. — Vol. 2304.
4. Горшкалев А.А. Разработка испытательного стенда для определения мощностных характеристик малоразмерного двухтактного двигателя внутреннего сгорания / А.А. Горшкалев, В.В. Бирюк, М.О. Захаров и др. // Международная научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». — 2021. — Т. 2. — с. 229-231
5. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А.И. Колчин, В.П. Демидов. — М.: Высш. шк., 2002. — 496 с.
6. Моргулис Ю.Б. Двигатели внутреннего сгорания (теория, конструкция и расчет) / Ю.Б. Моргулис. — М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1959. — 344 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания / В.Н. Луканин и др. — М.: Высшая школа, 2005. — Кн. 1: Теория рабочих процессов. — 479 с.
8. Biryuk V.V. Gas-Dynamic Analysis of Processes in a Small-Sizes Two-Stroke Combustion Engine / V.V. Biryuk, A.A. Gorshkalev, S.S. Kayukov et al. // The Open Mechanical Engineering Journal. — 2014. — 8. — p. 441-444.
9. Saigakov E.A. Strength analysis of the internal combustion engine elements by using CAD/CAE-systems / E.A. Saigakov, A.A. Gorshkalev, S.S. Kayukov et al. // Research Journal of Applied Sciences. — 9(10). — p. 669-673. — DOI: 10.3923/rjasci.2014.669.673.
10. Горшкалев А.А. Разработка методики расчёта рабочего процесса и мощностных характеристик малоразмерного двухтактного двигателя внутреннего сгорания / А.А. Горшкалев, В.В. Бирюк, М.О. Захаров и др. // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. — 2021. — Т. 20. — 3. — с. 97-109

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Aviacionnye materialy. Spravochnik VIAM v devjati tomah (izdanie 6-e, pererabotannoe i dopolnennoe) [Aviation materials. VIAM Handbook in nine volumes (6th edition, revised and supplemented)]. — M: ONTI, 1989. [in Russian]
2. EVO20GX2 Usermanual. — URL: [https://www.horizonhobby.com/pdf/EVOE20GX2-Manual\\_EN.pdf](https://www.horizonhobby.com/pdf/EVOE20GX2-Manual_EN.pdf) (accessed: 20.09.2022)

3. Orlov M.Y. Optimization of fuel distribution in the combustion chambers / M.Y. Orlov, V.M. Anisimov, D.N. Dmitriev // AIP Conference Proceedings. — 2020. — Vol. 2304.
4. Gorshkalev A.A. Razrabotka ispytatel'nogo stenda dlja opredelenija moshhnostnyh harakteristik malorazmernogo dvouhstaktnogo dvigatelja vnutrennego sgoranija [Development of a test bench for determining the power characteristics of a small-sized two-stroke internal combustion engine] / A.A. Gorshkalev, V.V. Birjuk, M.O. Zaharov et al. // Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija "Problemy i perspektivy razvitija dvigatelestroenija" [International scientific and technical conference "Problems and prospects for the development of engine building"]. — 2021. — Vol. 2. — p. 229-231. [in Russian]
5. Kolchin A.I. Raschet avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej [Calculation of automobile and tractor engines] / A.I. Kolchin, V.P. Demidov. — M.: Higher school, 2002. — 496 p. [in Russian]
6. Morgulis Ju.B. Dvigateli vnutrennego sgoranija (teorija, konstrukcija i raschet) [Internal combustion engines (theory, design and calculation)] / Ju.B. Morgulis. — M.: State scientific and technical publishing house of machine-building literature, 1959. — 344 p. [in Russian]
7. Dvigateli vnutrennego sgoranija [Internal combustion engines: a textbook for universities] / V.N. Lukanin et al. — M.: Higher school, 2005. — Book. 1: Theory of work processes. — 479 p. [in Russian]
8. Biryuk V.V. Gas-Dynamic Analysis of Processes in a Small-Sizes Two-Stroke Combustion Engine / V.V. Biryuk, A.A. Gorshkalev, S.S. Kayukov et al. // The Open Mechanical Engineering Journal. — 2014. — 8. — p. 441-444.
9. Saigakov E.A. Strength analysis of the internal combustion engine elements by using CAD/CAE-systems / E.A. Saigakov, A.A. Gorshkalev, S.S. Kayukov et al. // Research Journal of Applied Sciences. — 9(10). — p. 669-673. — DOI: 10.3923/rjasci.2014.669.673.
10. Gorshkalev A.A. Razrabotka metodiki raschjota rabocheho processa i moshhnostnyh harakteristik malorazmernogo dvouhstaktnogo dvigatelja vnutrennego sgoranija [Development of a methodology for calculating the working process and power characteristics of a small-sized two-stroke internal combustion engine] / A.A. Gorshkalev, V.V. Birjuk, M.O. Zaharov et al. // Vestnik Samarskogo universiteta. Ajerokosmicheskaja tehnika, tehnologii i mashinostroenie [Bulletin of the Samara University. Aerospace engineering, technologies and mechanical engineering]. — 2021. — Vol. 20. — 3. — p. 97-109. [in Russian]