

4. Galdin N.S., Erjomina S.V., Kurbackaja O.V. Kriterii jeffektivnosti osnovnyh mehanizmov mostovyh kranov [Criteria of efficiency of the basic mechanisms of bridge cranes]. *Vestnik SibADI*, 2014, no 1 (35). pp. 7 – 11.

5. Galdin N.S., Erjomina S.V., Kurbackaja O.V. Osobennosti proektirovaniya osnovnyh mehanizmov mostovyh kranov [Design features of the basic mechanisms of bridge cranes]. *Vestnik SibADI*, 2012, no 5 (27). pp. 21 – 25.

6. Galdin N.S., Kurbackaja O.V., Erjomina S.V. Komp'yuternoe modelirovanie osnovnyh mehanizmov mostovyh kranov [Computer modelling of the basic mechanisms of bridge cranes]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 2 (42). pp. 68 – 75.

7. Kursovoe proektirovanie gruzopod'emnyh mashin [Course design of load-lifting cars]. Moscow, Vyssh. shkola, 1989. 319 p.

8. Abramovich I.I., Berezin V.N., Jaure A.G. Gruzopod'emnye krany promyshlennyh predpriyatij: Spravochnik [Load-lifting cranes of the industrial enterprises: the Directory]. Moscow, Mashinostroenie, 1989. 360 p.

9. Remizovich, Ju.V. Transportno-tehnologicheskie mashiny [Transport technological machines]. Omsk: SibADI, 2011. 160 p.

Галдин Николай Семенович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод» ФГБОУ ВПО «СибАДИ»

(644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: galdin_ns@sibadi.org).

Абдулаева Ольга Владимировна (Россия, г. Омск) – инженер кафедры «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).

Ерёмина Светлана Владимировна (Россия, г. Омск) – инженер кафедры «Компьютерные информационные автоматизированные системы» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).

Galdin Nikolay Semenovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor, head of the department "Lifting, carrying and tractive machines and hydraulic circuit" of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080 Russia, Omsk, 5 Mira st., e-mail: galdin_ns@sibadi.org).

Abdulaeva Olga Vladimirovna (Russian Federation, Omsk) – engineer of the department "Lifting, carrying and tractive machines and hydraulic circuit" of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, 5 Mira st.).

Eryomina Svetlana Vladimirovna (Russian Federation, Omsk) – engineer of the department «Computer information automated systems» of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, 5 Mira st.).

УДК 621.879.48

ОЦЕНКА ОТКЛОНЕНИЯ ДНА ТРАНШЕИ ОТ ПЛОСКОСТИ ПРИ КОПАНИИ РОТОРНЫМИ ЭКСКАВАТОРАМИ

А.И. Демиденко, А.З. Аглиуллин, А.Б. Летопольский, Д.С. Семкин
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. Предложены уравнения, описывающие поверхность дна траншеи при копании роторными экскаваторами. Показано, что поверхность дна траншеи для имеющих роторных экскаваторов практически не отличаются от плоскости. Представлено уравнение, связывающее меру максимального отклонения поверхности дна траншеи от плоскости с конструктивными и технологическими параметрами роторного экскаватора. Показано, что предложенное уравнение не имеет аналитического решения, но после соответствующих преобразований приводится к номографируемой форме. Приводятся уравнения шкал номограммы.

Ключевые слова: дно траншеи, параметры роторного экскаватора, номограмма, уравнения.

Введение

До сих пор отсутствует четкая методика оценки отклонения дна траншеи от плоскости при копании роторными экскаваторами. Не исследовано влияние конструктивных и технологических параметров роторных экскаваторов на степень неровности дна траншеи. Параметры роторного экскаватора должны быть таковыми, чтобы степень неровности дна траншеи было минимальной.

Номограмма взаимосвязи неровности дна траншеи с параметрами роторного экскаватора

Если соединить режущие кромки ковшей с центром вращения ротора, то траектории режущих кромок двух соседних ковшей в системе безразмерных координат, принятых на рисунке 1, можно описать уравнениями [1], [2]:

$$x_1 = \cos \varphi_1 - k \cdot \varphi_1; \quad (1)$$

$$y_1 = \sin \varphi_1; \quad (2)$$

$$x_2 = \cos(\varphi_2 - \varphi_0) - k \cdot \varphi_2; \quad (3)$$

$$y_2 = \sin(\varphi_2 - \varphi_0), \quad (4)$$

где φ_1 и φ_2 - углы поворота режущих кромок соседних ковшей, отсчитанных с оси x , φ_0 - угол между отрезками 01 и 02, соединяющими центр вращения ротора с режущими кромками ковшей; k - безразмерный коэффициент, равный отношению скорости движения базовой машины к относительной скорости вращения режущей кром-

ки. Безразмерный коэффициент k определяется по следующей зависимости

$$k = \frac{v}{\omega \cdot R}, \quad (5)$$

v - скорость движения базовой машины, м/с; ω - угловая скорость вращения ротора, рад/с; R - радиус вращения режущей кромки ковша, м.

Безразмерные координаты x_i и y_i определяются как отношение действительной координаты к радиусу вращения R режущей кромки ковша.

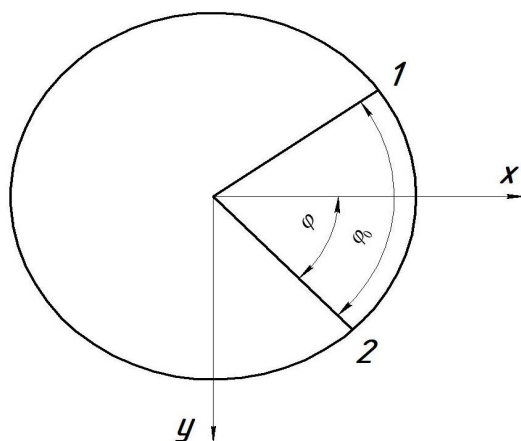


Рис. 1. Расчетная схема для вывода уравнений движения режущих кромок 1 и 2

На рисунке 2, а показаны траектории движения точек 1 и 2 за один полный оборот ротора, которые дважды пересекаются. На рисунке 2, б показан увеличенный фрагмент окрестности нижней точки пересечения.

Анализируя рисунок 2, б заключаем, что траектории движения режущих кромок двух соседних ковшей пересекаются в точке K , лежащей выше плоскости дна траншеи. Следовательно, поверхность дна траншеи в вышеуказанном месте представляет криволинейный треугольник MKN . Поверхность дна траншеи состоит из последовательно чередующихся треугольников MKN , напоминая пилообразную поверхность. Если высота этих треугольников ничтожно мала, то поверхность дна траншеи будет похожа на плоскость.

В точке пересечения линий 1 и 2 должны быть соблюдены равенства

$$y_1 = y_2; \quad (6)$$

$$x_1 = x_2. \quad (7)$$

Подставляя выражения (2), (4) в равенство (6) имеем

$$\sin(\varphi_2 - \varphi_0) = \sin \varphi_1. \quad (8)$$

Из последнего уравнения вытекает

$$2 \cdot \sin\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_0 - \varphi_1}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_0 + \varphi_1}{2}\right) = 0. \quad (9)$$

Откуда

$$\frac{\varphi_2 - \varphi_0 - \varphi_1}{2} = \pi \cdot n; \quad (10)$$

$$\frac{\varphi_2 - \varphi_0 + \varphi_1}{2} = \pm \frac{\pi}{2} + 2 \cdot \pi \cdot n. \quad (11)$$

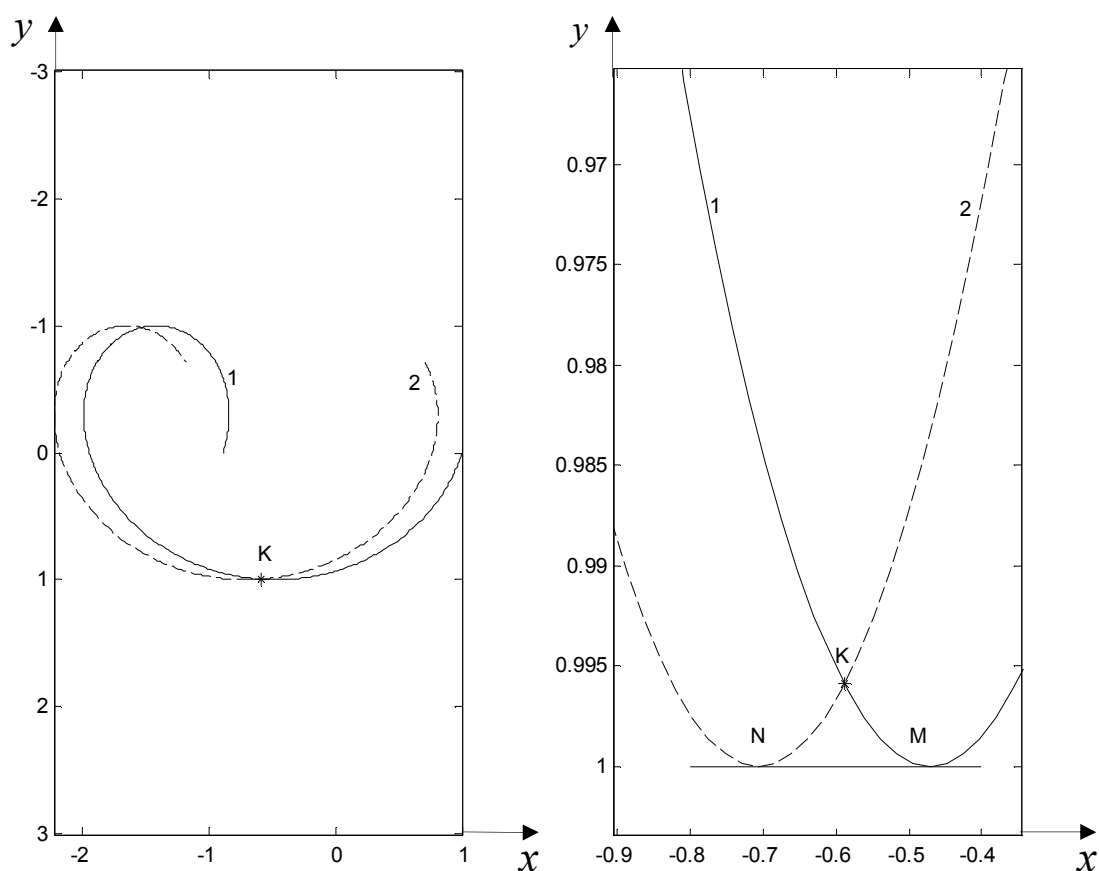


Рис. 2. Траектории режущих кромок соседних ковшей:
а) за один оборот ротора; б) увеличенный фрагмент нижней окрестности нижней точки пересечения

Положим $n=0$, тогда имеем два решения уравнения (9)

$$\varphi_2 = \varphi_1 - \varphi_0; \quad (12)$$

$$\varphi_2 = \pm\pi - \varphi_1 + \varphi_0. \quad (13)$$

Подставим полученные выражения в уравнение (7) с учетом выражений (1) и (3). Подстановка выражения (12) дает решение, которое является некорректным

$$\varphi_0 = 0. \quad (14)$$

После подстановки выражения (13) находим два уравнения

$$2 \cdot \cos \varphi_1 - 2 \cdot k \cdot \varphi_1 + k \cdot (\varphi_0 - \pi) = 0; \quad (15)$$

$$2 \cdot \cos \varphi_1 - 2 \cdot k \cdot \varphi_1 + k \cdot (\varphi_0 + \pi) = 0. \quad (16)$$

Решению уравнения (15) соответствует верхняя точка пересечения кривых 1 и 2, (см. рис. 2), которая нас не интересует. Если бы удалось найти решение уравнения (16)

относительно угла φ_1 , то оценить максимальное относительное отклонение профиля дна от плоскости можно по формуле

$$\delta = 1 - \sin \varphi_1. \quad (17)$$

Однако уравнение (16) относительно переменной φ_1 не имеет аналитического решения. Можно предложить на основе зависимости (16) номографическое решение задачи. Для чего запишем уравнение (16) в виде

$$\frac{1}{k} - \frac{\varphi_1}{\cos \varphi_1} + \frac{\varphi_0 + \pi}{2 \cdot \cos \varphi_1} = 0. \quad (18)$$

Из выражения (17) находим очевидные соотношения

$$\sin \varphi_1 = 1 - \delta; \quad (19)$$

$$\cos \varphi_1 = -\sqrt{1 - (\delta)^2}; \quad (20)$$

$$\varphi_1 = \pi - \arcsin(1 - \delta). \quad (21)$$

Подставляя соотношения (19) - (21), а также учитывая что

$$\varphi_0 = \frac{2 \cdot \pi}{z}, \quad (22)$$

где z – количество ковшей. уравнение (18) принимает вид

$$\frac{1}{k} + \frac{\pi - \arcsin(1 - \delta)}{\sqrt{1 - (1 - \delta)^2}} - \frac{\pi + \frac{2 \cdot \pi}{z}}{2 \cdot \sqrt{1 - (1 - \delta)^2}} = 0. \quad (23)$$

Уравнение (23) представляет номографируемую форму

$$f_3 \cdot f_1 + f_2 \cdot g_1 + h_1 = 0. \quad (24)$$

$$f_1 = 1. \quad (25)$$

$$f_3 = \frac{1}{k}. \quad (26)$$

$$f_2 = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{z}. \quad (27)$$

$$g_1 = -\frac{1}{\sqrt{1 - (1 - \delta)^2}}. \quad (28)$$

$$h_1 = \frac{\pi - \arcsin(1 - \delta)}{\sqrt{1 - (1 - \delta)^2}}. \quad (29)$$

Уравнения шкал номограммы имеют вид [3], [4]

Шкала 3 (переменной k):

$$x_3 = 0; \quad (30)$$

$$y_3 = m \cdot (f_3 - a). \quad (31)$$

Шкала 2 (переменной z):

$$x_2 = H; \quad (32)$$

$$y_2 = n \cdot (f_2 - b). \quad (33)$$

Шкала 1(переменной δ):

$$x_1 = \frac{H \cdot m \cdot g_1}{n \cdot f_1 + m \cdot g_1}; \quad (34)$$

$$y_1 = \frac{-m \cdot n \cdot (a \cdot f_1 + b \cdot g_1 + h_1)}{n \cdot f_1 + m \cdot g_1}, \quad (35)$$

где m , n , a , b , H - постоянные параметры номограммы, определяющие ее размеры.

На рисунке 3 показана номограмма, определяющая зависимость относительной погрешности профиля дна траншеи от числа ковшей роторного экскаватора и безразмерного коэффициента k .

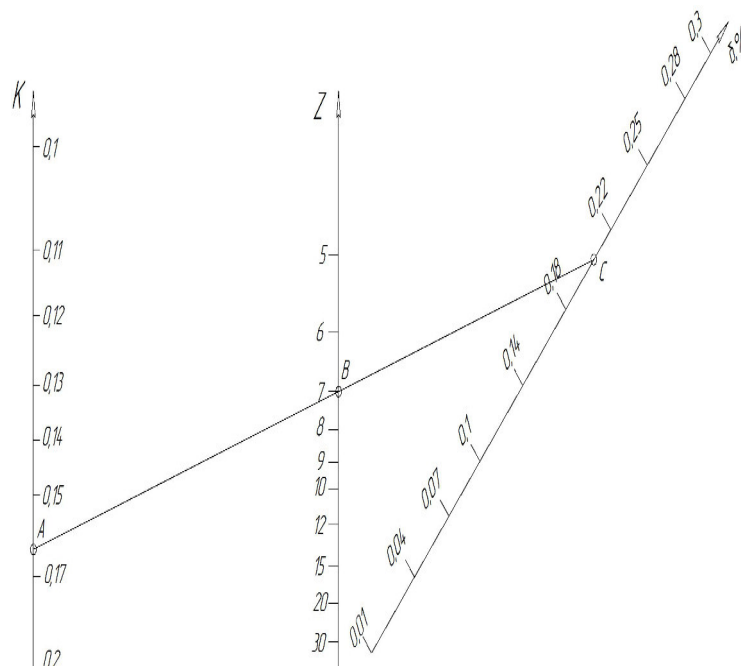


Рис. 3. Номограмма зависимости относительной погрешности профиля дна траншеи от числа ковшей роторного экскаватора и безразмерного коэффициента k

Порядок пользования номограммой следующий. На шкалах k и z помечаем точки A и B , соответствующие этим переменным, соединяем их прямой линией и продолжаем ее до пересечения со шкалой δ . Координата полученной точки 3 даст искомое значения δ .

Из [5] находим, что значение коэффициента k для существующих роторных экскаваторов меняется в диапазоне 0.0001- 0.07, что не соответствует диапазону изменения k в номограмме на рисунке 3.

Можно конечно перестроить номограмму с требуемым диапазоном изменения переменной k . Однако в этом нет необходимости. Как показывают исследования, при $k < 0.1$ уравнение (16) относительно переменной φ_1 имеет приближенное аналитическое решение. Для этого решение уравнения (16) представим в виде ряда по малому параметру k [6]

$$\varphi_1 = \varphi_1(0) + \frac{d\varphi_1}{dk} \cdot k. \quad (36)$$

Полагая в уравнении (16) $k=0$ находим

$$\varphi_1(0) = \frac{\pi}{2}, \quad (37)$$

где $\varphi_1(0)$, $\frac{d\varphi_1}{dk}$ - значения функции $\varphi_1(k)$ и ее первой производной при $k=0$.

По правилу дифференцирования неявно заданной функции [1]

$$\frac{d\varphi_1}{dk} = - \frac{\frac{\partial F}{\partial k}}{\frac{\partial F}{\partial \varphi_1}}, \quad (38)$$

где F - функция, определяемая левой частью уравнения (16).

Вычисляя частные производные этой функции и полагая в них $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ и $k=0$ из выражения (38) находим

$$\frac{d\varphi_1}{dk} = \frac{\varphi_0}{2}. \quad (39)$$

С учетом выражений (37), (39) и (22) решение (36) принимает вид

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi \cdot k}{z}. \quad (40)$$

Максимальное относительное отклонение профиля дна от плоскости определяем по формуле (17)

$$\delta = 2 \cdot \sin^2\left(\frac{\pi \cdot k}{z}\right). \quad (41)$$

Тогда максимальное отклонение профиля дна от плоскости составит

$$\Delta = R \cdot \delta = 2 \cdot R \cdot \sin^2\left(\frac{\pi \cdot k}{z}\right). \quad (42)$$

Расчет по формуле (42) для существующих роторных экскаваторов [5], [6] показывает, что $\Delta < 0.7$ мм.

Выводы

1. Максимальное отклонение профиля дна траншеи от плоскости при копании современными роторными экскаваторами величина незначительная.

2. При проектировании новых роторных экскаваторов необходима проверка меры отклонения профиля дна траншеи от плоскости при $k < 0.1$ по формуле (42), в противном случае по номограмме, представленной на рисунке 3.

Библиографический список

1. Бронштейн, И.С. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.С. Бронштейн, К.А. Семендяев. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, Гл ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.
2. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – 4-е изд., – М, 2001. – 864 с.
3. Номография и ее возможности / Г.С. Хованский. – Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М.: 1977. – 128 с.
4. Основы номографии / Г.С. Хованский. – Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука». – М.: 1976. – 351 с.
5. Добронравов, С.С. Строительные машины и оборудование: Справочник / С.С. Добронравов, М.С. Добронравов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2006. – 445 с.: ил.
6. Землеройные и подъемно-транспортные машины (Справочное пособие). Изд. 2-е, переработанное и доп. Трофимов А.П.. Киев, «Будивильник», 1978. – 368 с.

EVALUATION OF DEVIATION FROM THE PLANE OF THE BOTTOM OF THE TRENCH DIGGING ROTARY EXCAVATOR

A.I. Demidenko, A.Z. Agliullin,
A.B. Letopolsky, D.S. Semkin

Abstract. The equations that describe the surface of the bottom of the trench digging rotary excavators. It is shown that the bottom surface of the trench to existing rotary excavators practically do not differ from the plane. Presented equation relating the measure of the maximum deviation of the bottom surface of the trench from the plane to the design and technological parameters of bucket wheel excavator. It is shown that the proposed equation has an analytical solution, but after appropriate transformation to nomographability form. The equations nomogram scales.

Keywords: trench bottom, parameters of the rotor excavator, nomogram, equations.

References

1. Bronshtein S.S., Semendiyev K.A. *Spravochnik po matematike dly inzhenerov i uchashihsy vtuzov* [Handbook of mathematics for engineers and students of technical colleges]. Moscow, Nauka, 1986, 544 p.
2. Vigodskiy M.I. *Spravochnik po vishej matematike* [Handbook of higher mathematics]. 14-e izd., Moscow, 2001. 864 p.
3. *Nomografii i eyo vozmozhnosti* [Nomography and its capabilities]. G.S. Hovansky. Home edition of physical and mathematical literature «Nauka», Moscow, 1977. 128 p.
4. *Osnovy nomografii* [Basics nomography]. G.S. Hovansky. Home edition of physical and mathematical literature «Nauka», Moscow, 1976. 368 p.
5. Dobronravov S.S. *Stroitelnie mashiny i oborudovanie* [Construction machinery and equipment]: Handbook. S.S. Dobronravov, M.S. Dobronravov, second edition. Moscow, Vishay shkola, 2006. – 445 p.
6. Trofimov A.P. *Zemleroinie i podjemno-transportnie mashiny* [Digging and lifting-transporting

machines]: Reference guide, second edition, Kiev, «Bydivelnyk», 1978, 368 p.

Демиденко Анатолий Иванович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «ТНКИ» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: antooooon-85@mail.ru).

Аглиуллин Абрик Зайнулович (Россия, г. Омск) – старший преподаватель кафедры «ТНКИ» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).

Летопольский Антон Борисович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «ТНКИ», ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: antooooon-85@mail.ru).

Семкин Дмитрий Сергеевич (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: antooooon-85@mail.ru).

Demidenko Anatoly Ivanovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, professor, The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: antooooon-85@mail.ru).

Agliullin Abrik Zaynulovich (Russian Federation, Omsk) – senior teacher The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5).

Letopolsky Anton Borisovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: antooooon-85@mail.ru).

Semkin Dmitry Sergeyevich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: antooooon-85@mail.ru).

УДК 621.432

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

А.Г. Маркин, Б.В. Журавский, А.П. Жигadlo
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье анализируются причины затрудненного пуска автомобильных ДВС в условия низких отрицательных температур. Показано, что определяющее влияние на энергетические возможности системы пуска оказывает значение внутреннего сопротивления АКБ. Говориться о том, что одной из основных причин повышенного внутреннего сопротивления АКБ при эксплуатации автомобиля является её низкая степень заряженности. Рассмотрено влияние режимов эксплуатации автомобиля на степень заряженности АКБ. Приведено описание принципов работы предлагаемой интеллектуальной системы энергообеспечения автомобиля.