

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В ГИДРОЛИНИЯХ ГИДРОПРИВОДА НА ПРИМЕРЕ БУЛЬДОЗЕРА LIEBHERR PR 724

*Г.Г. Бурый, И.К. Потеряев,
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, Россия*

Аннотация: В статье рассматривается актуальность подбора элементов гидропривода строительных и подъемно-транспортных машин. В настоящее время широкое распространение на строительных и подъемно-транспортных машинах получил гидравлический привод. В состав гидравлического привода входит гидродвигатель, который может представлять собой либо гидроцилиндр либо гидромотор. При подборе в процессе эксплуатации или во время проектирования данных агрегатов важно знать потери давления во всасывающей, напорной и сливной гидролиниях. Процесс определения этих потерь является весьма трудоемким. Для автоматизации процесса определения потерь давления во всасывающей, напорной и сливной гидролиниях возможно использование программ ЭВМ.

В статье приводится программный код и методика автоматизированного расчета потерь давления в гидролиниях гидропривода строительных и подъемно-транспортных машин на примере бульдозера Liebherr PR 724. Программа написана на языке Microsoft Visual Basic Application и позволяет за долю секунды определить потери давления в гидролиниях, что очень актуально при многократных расчетах по подбору элементов гидропривода. Представлены параметры гидропривода рабочего оборудования бульдозера Liebherr PR 724 и результаты расчета потерь давления во всасывающей, напорной и сливной гидролиниях этого бульдозера. Описан принцип работы программы на примере бульдозера LIEBHERR PR 724.

Ключевые слова: бульдозер, гидропривод, потери давления, гидролинии, программа.

Для цитирования: Бурый Г.Г., Потеряев И.К. Автоматизированный расчет потерь давления в гидролиниях гидропривода на примере бульдозера LIEBHERR PR 724 // Маркшейдерия и недропользование. 2023. №6. С. 33-37.
DOI: 10.56195/20793332_2023_6_33_37.

PROGRAM FOR CALCULATION OF PRESSURE LOSS IN HYDRAULIC DRIVE LINES ON THE EXAMPLE OF BULLDOZER LIEBHERR PR 724

*G.G. Buriy, I.K. Poteryaev,
The Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia*

Abstract: The article considers the relevance of the selection of hydraulic drive elements for construction and lifting and transport machines. Currently, hydraulic drive is widely used on construction and lifting machines. The hydraulic drive includes a hydraulic motor, which can be either a hydraulic cylinder or a hydraulic motor. When selecting during operation or during the design of these units, it is important to know the pressure losses in the suction, pressure and drain hydraulic lines. The process of determining these losses is very laborious. Computer programs can be used to automate the process of determining pressure losses in the suction, pressure and drain hydraulic lines.

The article provides the program code and methodology for automated calculation of pressure losses in hydraulic lines of hydraulic drive of construction and lifting and transport machines using the example of the Liebherr PR 724 bulldozer. The program is written in Microsoft Visual Basic Application and allows you to determine pressure losses in hydraulic lines in a fraction of a second, which is very important for multiple calculations for the selection of hydraulic drive elements. The parameters of the hydraulic drive of the working equipment of the Liebherr PR 724 bulldozer and the results of calculating pressure losses in the suction, pressure and drain hydraulic lines of this bulldozer are presented. The principle of operation of the program is described using the example of the LIEBHERR PR 724 bulldozer.

Keywords: hydraulic drive, pressure loss, hydraulic lines, program, calculation.

For citation: Buriy G.G., Poteryaev I.K. Program for calculation of pressure loss in hydraulic drive lines on the example of bulldozer LIEBHERR PR 724. Surveying and subsoil use. 2023;(6): 33-37.(In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2023_6_33_37.

Гидропривод — важная составляющая машин и оборудования, используемых, в том числе, на горнодобывающих предприятиях, а также в строительных и подъемно-транспортных машинах. Основное достоинство данного вида привода состоит в том, что усилие может передаваться на большое расстояние в отличие от шестеренных и ременных передач. В начале 20-го века был распространен канатный привод в строительных и дорожных машинах. Однако канатный привод имеет ряд недостатков, одним из которых является большие габариты и масса. Эти и другие недостатки канатного привода привели к его постепенному вытеснению гидравлическим приводом [1, 2]. Гидропривод служит как для привода небольших деталей, так и для привода массивных машин, таких как прессы. В состав гидропривода входит гидродвигатель, который может представлять собой либо гидроцилиндр, либо гидромотор. При выборе данных агрегатов важно знать такой параметр как потери давления во всасывающей, напорной и сливной гидролиниях [3-5]. Однако процесс их определения требует определенного количества труда и времени. Чтобы автоматизировать данный процесс возможно использование программы для ЭВМ для расчета потерь давления в гидролиниях.

Цель работы — создать программный продукт, который позволит быстро подбирать элементы гидропривода строительных и подъемно-транспортных машин. При многократ-

ных расчетах программный продукт значительно ускорит подбор элементов гидропривода.

Методы исследования

Расчет потерь давления в гидролиниях проводился на базе гидропривода рабочего оборудования бульдозера Liebherr PR 724, расположенного в лаборатории кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (рис. 1).



Рис. 1. Бульдозер Liebherr PR 724 / Fig. 1. Bulldozer Liebherr PR 724

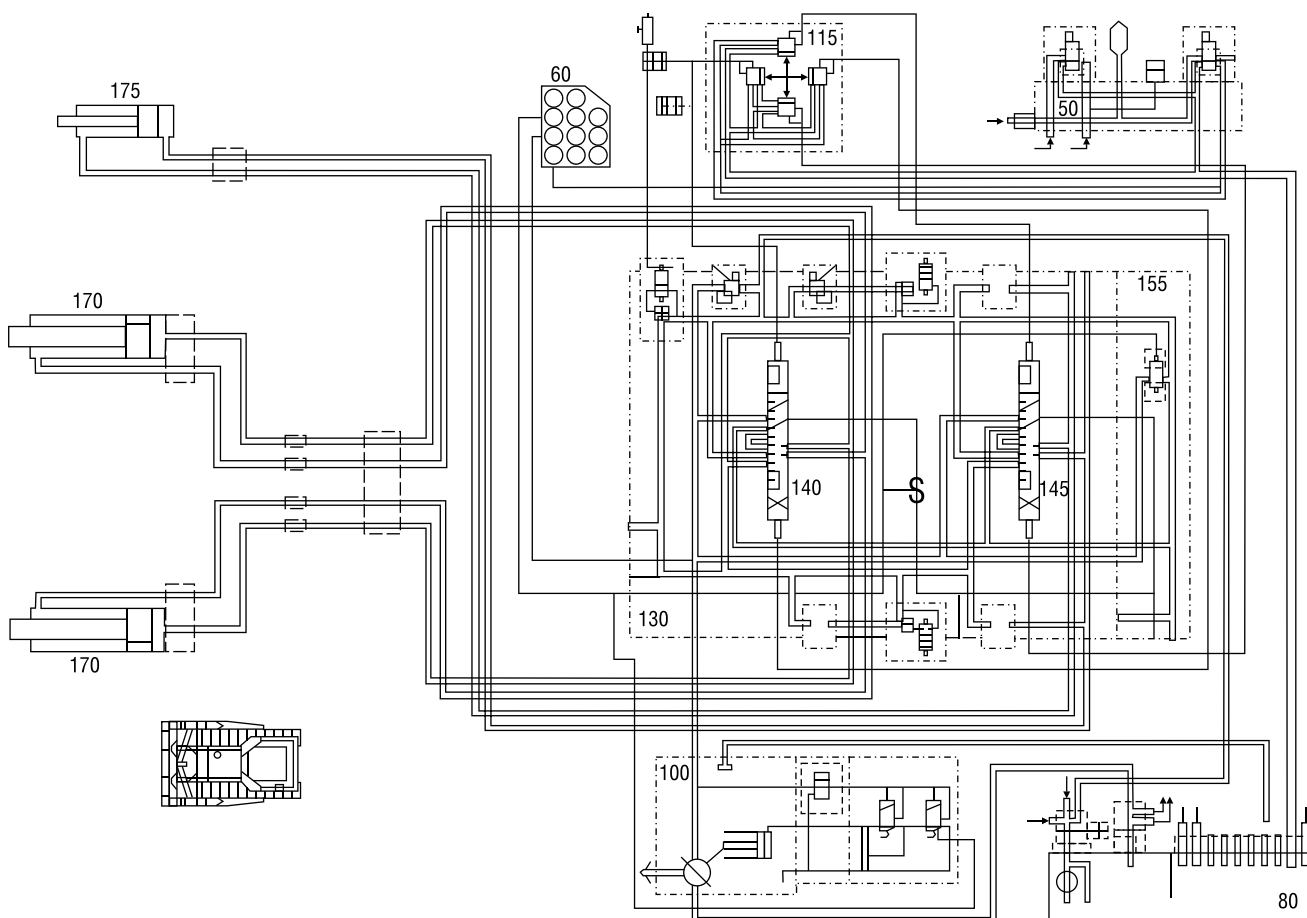


Рис. 2. Гидравлическая схема бульдозера Liebherr PR 724 / Fig. 2. Bulldozer hydraulic diagram Liebherr PR 724

Параметры гидропривода рабочего оборудования бульдозера Liebherr PR 724:

- длина всасывающей гидролинии 1200 мм; - длина напорной гидролинии 7400 мм; - длина сливной гидролинии 2100 мм; - количество переходников 6 шт.;
- количество штуцеров 6 шт.; - количество разъемных муфт 6 шт.; - количество плавных колен под 90 градусов 12 шт.; - количество дросселей 4 шт.;
- действительная подача насоса 3700000 мм³/с.

На *рис. 2* представлена гидравлическая схема рабочего оборудования бульдозера Liebherr PR 724.

На *рис. 3* представлены элементы гидропривода рабочего оборудования бульдозера Liebherr PR 724.



Рис. 3. Элементы гидропривода рабочего оборудования бульдозера Liebherr PR 724 / *Fig. 3.* Elements of hydraulic drive of bulldozer working equipment Liebherr PR 724

Результаты исследования

Для определения потерь давления в гидролиниях была применена программа для ЭВМ на языке программирования Microsoft Visual Basic Application [6].

Были определены исходные данные для расчета и их обозначения в программном коде: *Lvs* — длина всасывающей гидролинии, мм; *Lnap* — длина напорной гидролинии, мм; *Lsl* — длина сливной гидролинии, мм; *Kp* — число переходников; *Ksh* — число штуцеров; *Km* — число разъемных муфт; *Kk* — число плавных колен под углом 90°; *Kd* — число дросселей; *Q* — действительная подача насоса, мм³/с; *W* — кинематический коэффициент вязкости масла, мм²/с; *P* — плотность масла, кг/м³.

Были определены рассчитываемые параметры в программе: *Dvs* — диаметр всасывающей гидролинии, мм; *Dnap* — диаметр напорной гидролинии, мм; *Dsl* — диаметр сливной гидролинии, мм; *Vvs* — действительное значение скорости жидкости во всасывающей гидролинии, мм/с; *Vnap* — действительное значение скорости жидкости в напорной гидролинии, мм/с; *Vsl* — действительное значение скорости жидкости в сливной гидролинии, мм/с; *Revs* — число Рейнольдса для всасывающей гидролинии; *Renap* — число Рейнольдса для напорной гидролинии; *Resl* — число Рейнольдса для сливной гидролинии; *Kppvs* — коэффициент путевых потерь для всасывающей гидролинии; *Kppnap* — коэффициент путевых потерь для напорной гидролинии; *Kppsl* — коэффициент путевых потерь для сливной гидролинии; *PLvs* — потери давления по длине всасывающей гидролинии, Па; *PLnap* — потери давления по длине напорной гидролинии, Па; *PLsl* — потери давления по длине сливной гидролинии, Па; *KMS* — коэффициент местного сопротивления; *PMvs* — потери давления в местном сопротивлении всасывающей гидролинии, Па; *PMnap* — потери давления в местном сопротивлении напорной гидролинии, Па; *PMsl* — потери давления в местном сопротивлении сливной гидролинии, Па; *Pvs* — потери давления во всасывающей гидролинии, Па; *Pnap* — потери давления в напор-

ной гидролинии, Па; *PsI* — потери давления в сливной гидролинии, Па.

Программный код для расчета потерь давления в гидролиниях представлен на *рис. 4*.

```
Option Explicit
Private Sub Лист1_Click()
UserForm1.Show
End Sub

Sub CommandButton1_Click()
Dim Lvs As Long
Lvs = Val(UserForm1.TextBox1)
Lnap = Val(UserForm1.TextBox2)
Lsl = Val(UserForm1.TextBox3)
Kp = Val(UserForm1.TextBox4)
Ksh = Val(UserForm1.TextBox5)
Km = Val(UserForm1.TextBox6)
Kk = Val(UserForm1.TextBox7)
Kd = Val(UserForm1.TextBox8)
Q = Val(UserForm1.TextBox9)
W = Val(UserForm1.TextBox10)
P = Val(UserForm1.TextBox11)
Dvs = (0.00127 * Q / 1200) ^ 0.5
Dnap = (0.00127 * Q / 4000) ^ 0.5
Dsl = (0.00127 * Q / 2000) ^ 0.5
Vvs = 0.00127 * Q / (Dvs ^ 2)
Vnap = 0.00127 * Q / (Dnap ^ 2)
Vsl = 0.00127 * Q / (Dsl ^ 2)
Revs = Vvs * Dvs / W
Renap = Vnap * Dnap / W
Resl = Vsl * Dsl / W
If Revs < 2320 Then
Kppvs = 75 / Revs
End If
If Revs > 2320 Then
Kppvs = 0.3164 / (Revs ^ 0.25)
End If
If Renap < 2320 Then
Kppnap = 75 / Renap
End If
If Renap > 2320 Then
Kppnap = 0.3164 / (Renap ^ 0.25)
End If
If Resl < 2320 Then
Kppsl = 75 / Resl
End If
If Resl > 2320 Then
Kppsl = 0.3164 / (Resl ^ 0.25)
End If
PLvs = Kppvs * (Lvs / Dvs) * (Vvs ^ 2) * 0.5 * P * 0.000001
PLnap = Kppnap * (Lnap / Dnap) * (Vnap ^ 2) * 0.5 * P * 0.000001
PLsl = Kppsl * (Lsl / Dsl) * (Vsl ^ 2) * 0.5 * P * 0.000001
KMS = 0.1 * Kp + 0.1 * Ksh + Km + 0.12 * Kk + 2 * Kd
PMvs = KMS * 0.5 * (Vvs ^ 2) * P * 0.000001
PMnap = KMS * 0.5 * (Vnap ^ 2) * P * 0.000001
PMsl = KMS * 0.5 * (Vsl ^ 2) * P * 0.000001
Pvs = (PLvs + PMvs) / 2
Pnap = (PLnap + PMnap) / 2
Psl = (PLsl + PMsl) / 2
Cells(1, 1) = Pvs
Cells(2, 1) = Pnap
Cells(3, 1) = Psl
End Sub
```

Рис. 4. Программный код для расчета потерь давления в гидролиниях /

Fig. 4. Program code for calculating pressure losses in hydraulic lines

Расчет потерь давления в гидролиниях в программе Microsoft Excel выполнялся в следующем порядке. Изначально в программный код заносились обозначения исходных данных. Далее к полям программы привязывались обозначения исходных данных. Затем проводился расчет параметров для определения потерь давления в гидролиниях. В программном коде также присутствовали условия для расчета коэффициента путевых потерь. В зависимости от числа Рейнольдса расчет проводился для ламинарного или для турбулентного режима. Следует отметить, что поля для вывода данных стоит заранее привязать к ячейкам A1, A2 и A3. Также следует учесть, что исходные данные нужно вводить именно в тех единицах, которые указаны на форме.

Форма программы с исходными и выходными данными приведена на *рис. 5*.

Параметр	Значение
Длина всасывающей гидролинии, мм	1200
Длина напорной гидролинии, мм	7400
Длина сливной гидролинии, мм	2100
Количество переходников	6
Количество штуцеров	6
Количество разъемных муфт	6
Количество плавных колен под 90 градусов	12
Количество дросселей	4
Действительная подача насоса, мм ³ /с	3700000
Вязкость масла, мм ² /с	25
Плотность масла, кг/м ³	882
Расчет	
Потери давления во всасывающей гидролинии, Па	187832
Потери давления в напорной гидролинии, Па	82769
Потери давления в сливной гидролинии, Па	324824

Рис. 5. Форма программы с входными и выходными данными /

Fig. 5. Program form with input and output data

Рассмотрим подробнее расчеты в программе. После ввода исходных данных программой проводится расчет внутренних диаметров всасывающей, напорной и сливной гидролиний. Далее проводится расчет действительных значений скоростей жидкости в этих гидролиниях. Затем проводится расчет чисел Рейнольдса по значениям которых проводится расчет коэффициентов путевых потерь для всасывающей, напорной и сливной гидролиний. После проведенных расчетов определяются потери давления по длине всасывающей, напорной и сливной гидролиний. Затем определяется коэффициент местных сопротивлений по количеству элементов, которые могут препятствовать непрерывному потоку жидкости. Далее определяются значения потерь давлений в местных сопротивлениях всасывающей, напорной и сливной гидролиний. Затем находятся окончательные значения потерь давлений в гидролиниях как среднее арифметическое потерь давлений по длине и в местных сопротивлениях [7-15].

Для примера.

Подставив представленные параметры гидропривода рабочего оборудования бульдозера Liebherr PR 724 в программу ЭВМ получим:

- ✦ потери давления во всасывающей гидролинии — 187832 Па;
- ✦ потери давления в напорной гидролинии — 82769 Па;
- ✦ потери давления в сливной гидролинии — 324824 Па.

Заключение

Представленный программный продукт позволяет за долю секунды определить потери давления в гидролиниях, что очень актуально при многократных расчетах по подбору элементов гидропривода. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Чмиль, В.П. Совершенствование гидропривода бульдозера / В.П. Чмиль // Строительные и дорожные машины. - 2014. - № 2. - С. 24-27.
2. Богданова, Е.О. Повышение эффективности рабочего оборудования бульдозера / Е. О. Богданова // Современные научные исследования и инновации. - 2016. - № 10(66). - С. 78-82.
3. Епифанов, В.Н. Гидравлический привод строительных и дорожных машин : учебное пособие / В.Н. Епифанов, С.Л. Васильевых. - Киров: ВятГУ, 2017. - 65 с.
4. Чмиль, В.П. Гидропневмопривод строительной техники. Конструкция, принцип действия, расчет : учебное пособие / В.П. Чмиль. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1129-0.
5. Гончаров, В.Б. Анализ рабочего оборудования бульдозера для разработки грунта / В.Б. Гончаров, И.П. Хардииков, Е.В. Харламов // Научный альманах. - 2016. - № 10-3(24). - С. 91-94. - DOI 10.17117/na.2016.10.03.091.
6. Гарнаев, А.Ю. Самоучитель VBA / А.Ю. Гарнаев. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2004. - 560 с.
7. Алексеева, Т.В. Гидропривод и гидроавтоматика землеройно-транспортных машин / Т.В. Алексеева. - Москва : Машиностроение, 1966. - 148 с.
8. Беленков, Ю.А. Гидравлика и гидропневмопривод: учебник / Ю.А. Беленков, А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин. - Москва : Бастет, 2013. - 406 с.
9. Гринчар, Н.Г. Основы расчета гидропривода машины : учебно-методическое пособие / Н.Г. Гринчар. - Москва : РУТ (МИИТ), 2020. - 38 с.
10. Гринчар, Н.Г. Расчет и проектирование бульдозеров : учебное пособие / Н.Г. Гринчар, П.В. Шепелина. - Москва : РУТ (МИИТ), 2020. - 174 с.
11. Галдин, Н.С. Гидравлические машины, объемный гидропривод : учебное пособие / Н.С. Галдин. - 2-е изд., стер. - Омск: СибАДИ, 2014. - 272 с.
12. Галдин, Н.С. Теория и проектирование гидропривода [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. - Омск: СибАДИ, 2016. - 149 с.
13. Ивановский, Ю.К. Основы теории гидропривода : учебное пособие / Ю.К. Ивановский, К.П. Моргунов. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 200 с.
14. Галдин, Н.С. Гидравлические элементы мобильных машин : учебное пособие / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. - Омск: СибАДИ, 2016. - 231 с.
15. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы: учебник / Т.М. Башта [и др.]. - 2-е изд., перераб. - Москва : Альянс, 2013. - 423 с.

REFERENCES

1. Chmil, V.P. Improving the hydraulic drive of a bulldozer / V.P. Chmil // Construction and road machines. - 2014. - No. 2. - P. 24-27.
2. Bogdanova, E.O. Increasing the efficiency of bulldozer working equipment / E.O. Bogdanova // Modern scientific research and innovation. - 2016. - No. 10(66). - pp. 78-82.
3. Epifanov, V.N. Hydraulic drive of construction and road machines: textbook / V.N. Epifanov, S.L. Vasiliev. - Kirov: VyatGU, 2017. - 65 p.
4. Chmil, V.P. Hydraulic pneumatic drive of construction equipment. Design, principle of operation, calculation: textbook / V.P. Chmil. - St. Petersburg: Lan, 2022. - 320 p. - ISBN 978-5-8114-1129-0.
5. Goncharov, V.B. Analysis of the working equipment of a bulldozer for soil development / V.B. Goncharov, I.P. Khardikov, E.V. Kharlamov // Scientific almanac. - 2016. - No. 10-3(24). - pp. 91-94. - DOI 10.17117/na.2016.10.03.091.
6. Garnaev, A.Yu. VBA tutorial / A.Yu. Garnaev. - 2nd ed., revised. and additional - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2004. - 560 p.
7. Alekseeva, T.V. Hydraulic drive and hydraulic automation of earthmoving and transport machines / T.V. Alekseeva. - Moscow: Mechanical Engineering, 1966. - 148 p.
8. Belenkov, Yu.A. Hydraulics and hydraulic pneumatic drive: textbook / Yu.A. Belenkov, A.V. Lepeshkin, A.A. Mikhailin. - Moscow: Bastet, 2013. - 406 p.
9. Grinchar, N.G. Fundamentals of calculating the hydraulic drive of a machine: educational manual / N.G. Grinchar. - Moscow: RUT (MIIT), 2020. - 38 p.
10. Grinchar, N.G. Calculation and design of bulldozers: textbook / N.G. Grinchar, P.V. Shepelina. - Moscow: RUT (MIIT), 2020. - 174 p.
11. Galdin, N.S. Hydraulic machines, volumetric hydraulic drive: textbook / N.S. Galdin. - 2nd ed., revised. - Omsk: SibADI, 2014. - 272 p.
12. Galdin, N.S. Theory and design of hydraulic drive [Electronic resource]: textbook / N.S. Galdin, I.A. Semenova. - Omsk: SibADI, 2016. - 149 p.
13. Ivanovsky, Yu.K. Fundamentals of the theory of hydraulic drive: textbook / Yu.K. Ivanovsky, K.P. Morgunov. - St. Petersburg: Lan, 2022. - 200 p.
14. Galdin, N.S. Hydraulic elements of mobile machines: textbook / N.S. Galdin, I.A. Semenova. - Omsk: SibADI, 2016. - 231 p.
15. Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives: textbook / T.M. Bashta [and others]. - 2nd ed., revised. - Moscow: Alliance, 2013. - 423 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бурый Григорий Геннадьевич:

кандидат технических наук,
доцент,
кафедра «Автомобильный транспорт»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
г. Омск, Россия,
e-mail: buryy1989@bk.ru

Потеряев Илья Константинович:

кандидат технических наук,
заведующий кафедрой,
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
г. Омск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Buriy Grigoriy Gennadievich:

Candidate of Technical Sciences,
associate professor,
departments of automobile transport,
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«The Siberian State Automobile and Highway University»,
Omsk, Russia,
e-mail: buryy1989@bk.ru

Poteryaev Ilya Konstantinovich:

candidate of technical sciences,
head department,
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«The Siberian State Automobile and Highway University»,
Omsk, Russia

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Бурый Г.Г. — постановка проблемы, разработка концепции статьи, написание программного кода для расчета потерь давления в гидростроениях. Потеряев И.К. — определение параметров гидропривода рабочего оборудования бульдозера Liebherr PR 724, расчет потерь давления в гидростроениях гидропривода бульдозера Liebherr PR 724, визуальное представление результатов /

Buriy G.G. — formulation of the problem, development of the concept of the article, writing program code for calculating pressure losses in hydraulic lines. Poteryaev I.K. — determination of the parameters of the hydraulic drive of the working equipment of the Liebherr PR 724 bulldozer, calculation of pressure losses in the hydraulic lines of the hydraulic drive of the Liebherr PR 724 bulldozer, visual presentation of the results.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.