УДК 514.76

Н. П. Можей
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

СОВЕРШЕННЫЕ АЛГЕБРЫ ГОЛОНОМИИ ТРИВИАЛЬНЫХ СВЯЗНОСТЕЙ НА ОДНОРОДНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ РАЗРЕШИМЫХ ГРУПП ЛИ

Во введении указан объект исследования – алгебры голономии аффинных связностей на однородных пространствах. Определены основные понятия: инвариантная аффинная связность, тензор кручения и тензор кривизны, алгебра голономии. Целью данной работы является локальная классификация трехмерных однородных пространств, допускающих только тривиальную аффинную связность с совершенной алгеброй голономии. Рассмотрены пространства, на которых действует разрешимая группа преобразований. В основной части работы приведено локальное описание трехмерных однородных пространств, на которых действует разрешимая группа преобразований, допускающих только тривиальную аффинную связность с совершенной алгеброй голономии, что эквивалентно описанию соответствующих эффективных пар алгебр Ли. Описаны в явном виде тензоры кривизны и сами совершенные алгебры голономии указанных связностей. Исследования основаны на использовании свойств алгебр Ли, групп Ли и однородных пространств и носят, главным образом, локальный характер. Особенностью методов, представленных в работе, является применение чисто алгебраического подхода к описанию многообразий и структур на них, а также сочетание различных методов дифференциальной геометрии, теории групп и алгебр Ли и теории однородных пространств.

Ключевые слова: алгебра голономии, однородное пространство, группа преобразований, аффинная связность, тензор кривизны.

Для цитирования: Можей Н. П. Совершенные алгебры голономии тривиальных связностей на однородных пространствах разрешимых групп Ли // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2022. № 2 (260). С. 21–25.

N. P. Mozhey
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

PERFECT HOLONOMY ALGEBRAS OF TRIVIAL CONNECTIONS ON HOMOGENEOUS SPACES OF SOLVABLE LIE GROUPS

In the introduction, an object of research is indicated – the holonomy algebras of affine connections on homogeneous spaces. The basic notions, such as an invariant affine connection, torsion and curvature tensors, a holonomy algebra are defined. The purpose of the work is the local classification of three-dimensional homogeneous spaces, admits the trivial affine connection perfect holonomy algebra only. We have concerned the case of the solvable Lie group of transformations. In the main part of the work a local description of three-dimensional homogeneous spaces, admitting only trivial affine connections with the perfect holonomy algebra, on which an solvable Lie group of transformations acts, is given. It is equivalent to describing the corresponding effective pairs of Lie algebras. The curvature tensors and the perfect holonomy algebras of the indicated connections are described explicitly. Studies are based on the use of properties of the Lie algebras, Lie groups and homogeneous spaces and they mainly have local character. The peculiarity of techniques presented in the work is the application of purely algebraic approach to the description of manifolds and structures on them, as well as compound of methods of differential geometry, the theory of Lie groups and algebras and the theory of homogeneous spaces.

Key words: holonomy algebra, homogeneous space, transformation group, affine connection, curvature tensor.

For citation: Mozhey N. P. Perfect holonomy algebras of trivial connections on homogeneous spaces of solvable Lie groups. *Proceedings of BSTU, issue 3, Physics and Mathematics. Informatics*, 2022, no. 2 (260), pp. 21–25 (In Russian).

Введение. Многообразие обладает совершенной группой голономии, если вся алгебра голономии порождается только операторами кривизны. Исследования структуры кривизны многообразий с совершенной группой голономии проводились, например, в работах [1–3]. С описанием алгебр голономии тривиальных связностей на однородных пространствах с разрешимыми группами преобразований можно ознакомиться в статье [4], целью же данной работы является определение, при каких условиях алгебра голономии является совершенной. В статье рассматриваются пространства, на которых действует разрешимая группа преобразований, что является продолжением работы автора для случая неразрешимых групп Ли.

Основная часть. Пусть M – дифференцируемое многообразие, на котором транзитивно действует группа $\bar{G}$, $G=\bar{G}_x$ – стабилизатор произвольной точки $x\in M$. Пусть $\bar{\mathfrak{g}}$ – алгебра Ли группы Ли $\bar{G}$, а $\mathfrak{g}$ – подалгебра, соответствующая подгруппе G. Там, где это не будет вызывать разночтения, будем отождествлять подпространство, дополнительное к $\mathfrak{g}$ в $\bar{\mathfrak{g}}$, и факторпространство $\mathfrak{m}=\bar{\mathfrak{g}}/\mathfrak{g}$. *Аффинной связностью* на паре ($\bar{\mathfrak{g}},\mathfrak{g}$) называется такое отображение $\Lambda:\bar{\mathfrak{g}}\to\mathfrak{gl}(\mathfrak{m})$, что его ограниче-ние на $\mathfrak{g}$ есть изотропное представление подалгебры, а все отображение является $\mathfrak{g}$-инвариантным. *Тензор кручения* и *тензор кривизны* для всех $x,y\in\bar{\mathfrak{g}}$ имеют вид: $T(x_{\mathfrak{m}},y_{\mathfrak{m}})=\Lambda(x)y_{\mathfrak{m}}-\Lambda(y)x_{\mathfrak{m}}-[x,y]_{\mathfrak{m}}$, $R(x_{\mathfrak{m}},y_{\mathfrak{m}})=[\Lambda(x),\Lambda(y)]-\Lambda([x,y])$.

Переформулируем теорему Вана [5] об алгебре голономии: *алгебра* Ли $\mathfrak{h}^*$ группы *голономии* инвариантной связности на паре ($\bar{\mathfrak{g}},\mathfrak{g}$) – это подалгебра алгебры $\mathfrak{gl}(3,\mathbb{R})$ вида $V+[\Lambda(\bar{\mathfrak{g}}),V]+[\Lambda(\bar{\mathfrak{g}}),[\Lambda(\bar{\mathfrak{g}}),V]]+\ldots$, где V – подпространство, порожденное множеством $\{[\Lambda(x),\Lambda(y)]-\Lambda([x,y])\mid x,y\in\bar{\mathfrak{g}}\}$. Положим $\mathfrak{a}_{\bar{\mathfrak{g}}}$ равной подалгебре $\mathfrak{gl}(3,\mathbb{R})$, порожденной $\{\Lambda(x);x\in\bar{\mathfrak{g}}\}$. Многообразие обладает *совершенной группой голономии*, если алгебра голономии порождается лишь операторами кривизны.

Будем описывать пару ($\bar{\mathfrak{g}},\mathfrak{g}$) при помощи таблицы умножения алгебры Ли $\bar{\mathfrak{g}}$ в базисе $\{e_1,\ldots,e_n\}$, $n=\dim\,\bar{\mathfrak{g}}$, причем $\{e_1,\ldots,e_{n-3}\}$ – базис $\mathfrak{g}$, а $\{u_1=e_{n-2},u_2=e_{n-1},u_3=e_n\}$ – базис $\mathfrak{m}$. Будем выписывать аффинную связность через $\Lambda(u_1)$, $\Lambda(u_2)$, $\Lambda(u_3)$, а тензор кривизны R – через $R(u_1,u_2)$, $R(u_1,u_3)$, $R(u_2,u_3)$. Все приведенные ниже связности оказываются связностями без кручения.

Пусть группа, действующая на однородном пространстве, является разрешимой. Также в дальнейшем будем полагать, что алгебра голономии ненулевая. Для нумерации подалгебр в $\mathfrak{gl}(3,\mathbb{R})$ используем запись $d.n$, а для нумерации пар – запись $d.n.m$, здесь d – размерность подалгебры, n – номер подалгебры в $\mathfrak{gl}(3,\mathbb{R})$, а m – номер пары ($\bar{\mathfrak{g}},\mathfrak{g}$).

Теорема. *Трехмерные однородные пространства, допускающие только тривиальную аффинную связность с совершенной алгеброй голономии, такие, что* $\bar{\mathfrak{g}}$ *является разрешимой, имеют вид:*

2.8.6	e_1	e_2	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$-e_1/2$	0	0	u_1
e_2	$e_1/2$	0	0	u_2	$-u_3/2$
u_1	0	0	0	0	0
u_2	0	$-u_2$	0	0	e_1
u_3	$-u_1$	$u_3/2$	0	$-e_1$	0

2.9.3, $\mu\neq 0,1/2$, $\mu\neq 1/4$	e_1	e_2	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$(1-\mu)e_2$	u_1	$(1-2\mu)u_2$	μu_3
e_2	$(\mu-1)e_2$	0	0	0	u_1
u_1	$-u_1$	0	0	0	0
u_2	$(2\mu-1)u_2$	0	0	0	e_2
u_3	$-\mu u_3$	$-u_1$	0	$-e_2$	0

2.16.2	e_1	e_2	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$-2e_1/3$	0	0	u_1
e_2	$2e_1/3$	0	u_1	$u_2/3$	$u_2+u_3/3$
u_1	0	$-u_1$	0	0	0
u_2	0	$-u_2/3$	0	0	e_1
u_3	$-u_1$	$-u_2-u_3/3$	0	$-e_1$	0

3.8.9	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	0	$e_3/2$	u_1	0	$u_3/2$
e_2	0	0	$e_3/2$	0	u_2	$-u_3/2$
e_3	$-e_3/$	$-e_3/2$	0	0	0	u_1
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	0
u_2	0	$-u_2$	0	0	0	e_3
u_3	$-u_3/$	$u_3/2$	$-u_1$	0	$-e_3$	0

3.13.2 $\mu\neq 0,1/2$, $\mu\neq 1/4$	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$(1-3\mu)e_2$	$(1-\mu)e_3$	u_1	$(1-2\mu)u_2$	μu_3
e_2	$(3\mu-1)e_2$	0	0	0	0	u_2
e_3	$(\mu-1)e_3$	0	0	0	0	u_1
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	0
u_2	$(2\mu-1)u_2$	0	0	0	0	e_3
u_3	$-\mu u_3$	$-u_2$	$-u_1$	0	$-e_3$	0

3.13.4	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$(1+\mu)e_2$	$(1-\mu)e_3$	u_1	$(1+2\mu)u_2$	μu_3
e_2	$-(\mu+1)e_2$	0	0	0	0	u_2
e_3	$(\mu-1)e_3$	0	0	0	0	u_1
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	e_2
u_2	$-(2\mu+1)u_2$	0	0	0	0	0
u_3	$-\mu u_3$	$-u_2$	$-u_1$	$-e_2$	0	0

3.14.2	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$-2e_2$	0	u_1	$-u_2$	u_3
e_2	$2e_2$	0	0	0	0	u_2
e_3	0	0	0	0	0	u_1
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	0
u_2	u_2	0	0	0	0	e_3
u_3	$-u_3$	$-u_2$	$-u_1$	0	$-e_3$	0

3.19.16	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$-2e_2$	e_3	0	$2u_2$	$-u_3$
e_2	$2e_2$	0	0	0	u_1	0
e_3	$-e_3$	0	0	0	0	u_1
u_1	0	0	0	0	0	0
u_2	$-2u_2$	$-u_1$	0	0	0	e_3
u_3	u_3	0	$-u_1$	0	$-e_3$	0

3.20.4 $\lambda \neq 0, 1/4$	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$(1-\lambda)e$	$2\lambda e_3$	u_1	λu_2	$(1-2\lambda)u_3$
e_2	$(\lambda-1)$	0	0	0	u_1	0
e_3	$-2\lambda e_3$	0	0	0	0	u_1
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	0
u_2	$-\lambda u_2$	$-u_1$	0	0	0	e_2
u_3	$(2\lambda-1$	0	$-u_1$	0	$-e_2$	0

3.20.5 $\mu \neq 1/2$	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$2\mu e_2$	$(1-\mu)e_3$	u_1	$(1-2\mu)u_2$	μu_3
e_2	$-2\mu e_2$	0	0	0	u_1	0
e_3	$(\mu-1)e_3$	0	0	0	0	u_1
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	0
u_2	$(2\mu-1)u_2$	$-u_1$	0	0	0	e_3
u_3	$-\mu u_3$	0	$-u_1$	0	$-e_3$	0

3.23.2	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$2/5e_2$	$4/5e_3$	u_1	$3/5u_2$	$1/5u_3$
e_2	$-2/5e_2$	0	0	0	u_1	u_2
e_3	$-4/5e_3$	0	0	0	0	u_1
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	0
u_2	$-3/5u_2$	$-u_1$	0	0	0	e_3
u_3	$-1/5u_3$	$-u_2$	$-u_1$	0	$-e_3$	0

3.27.2	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$e_3 - e_2/3$	0	0	u_1	0
e_2	$2e_1/3 - e_3$	0	$2e_3/3$	u_1	$u_2/3$	$u_2 + u_3/3$
e_3	0	$-2e_3/3$	0	0	0	u_1
u_1	0	$-u_1$	0	0	0	0
u_2	$-u_1$	$u_2/3$	0	0	0	e_3
u_3	0	$-u_2 - u_3/3$	$-u_1$	0	$-e_3$	0

4.8.10	e_1	e_2	e_3	e_4	u_1	u_2	u_3
e_1	0	0	$3e_3/2$	$e_4/2$	u_1	0	$-u_3/2$
e_2	0	0	$-e_3/2$	$e_4/2$	0	u_2	$u_3/2$
e_3	$-3e_3/2$	$e_3/2$	0	0	0	0	u_1
e_4	$-e_4/2$	$-e_4/2$	0	0	0	0	u_2
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	0	e_4
u_2	0	$-u_2$	0	0	0	0	0
u_3	$u_3/2$	$-u_3/2$	$-u_1$	$-u_2$	$-e_4$	0	0

4.11.4	e_1	e_2	e_3	e_4	u_1	u_2	u_3
e_1	0	0	e_3	$e_4/2$	u_1	0	$u_3/2$
e_2	0	0	$-e_3$	$e_4/2$	0	u_2	$-u_3/2$
e_3	$-e_3$	e_3	0	0	0	u_1	0
e_4	$-e_4/2$	$-e_4/2$	0	0	0	0	u_1
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	0	0
u_2	0	$-u_2$	$-u_1$	0	0	0	e_4
u_3	$-u_3$	$u_3/2$	0	$-u_1$	0	$-e_4$	0

4.20.2	e_1	e_2	e_3	e_4	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$-e_2$	$e_3/2$	$3e_4/2$	0	u_2	$-u_3/2$
e_2	e_2	0	0	e_3	0	u_1	0
e_3	$-e_3/2$	0	0	0	0	0	u_1
e_4	$-3e_4/2$	$-e_3$	0	0	0	0	u_2
u_1	0	0	0	0	0	0	0
u_2	$-u_2$	$-u_1$	0	0	0	0	e_3
u_3	$u_3/2$	0	$-u_1$	$-u_2$	0	$-e_3$	0

4.21.2, $\lambda \neq 1$	e_1	e_2	e_3	e_4	u_1	u_2	u_3
e_1	0	$(\lambda-1)e_2$	$(3\lambda-1)2e_3$	$(1+\lambda)2e_4$	u_1	λu_2	$(1-\lambda)2u_3$
e_2	$(\lambda-1)e_2$	0	e_4	0	0	u_1	0
e_3	$(1-3\lambda)/2e_3$	$-e_4$	0	0	0	0	u_2
e_4	$-(1+\lambda)/2e_4$	0	0	0	0	0	u_1
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	0	0
u_2	$-\lambda u_2$	$-u_1$	0	0	0	0	e_4
u_3	$(\lambda-1)u_2/2$	0	$-u_2$	$-u_1$	0	$-e_4$	0

5.10.2	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	u_1	u_2	u_3
e_1	0	0	e_3	$e_4/2$	$-e_5/2$	u_1	0	$u_3/2$
e_2	0	0	$-e_3$	$e_4/2$	$3e_5/2$	0	u_2	$-u_3/2$
e_3	$-e_3$	e_3	0	0	e_4	0	u_1	0
e_4	$-e_4$	$-e_4/2$	0	0	0	0	0	u_1
e_5	$e_5/2$	$-3e_5/2$	$-e_4$	0	0	0	0	u_2
u_1	$-u_1$	0	0	0	0	0	0	0
u_2	0	$-u_2$	$-u_1$	0	0	0	0	e_4
u_3	$-u_3$	$u_3/2$	0	$-u_1$	$-u_2$	0	$-e_4$	0

Совершенные алгебры голономии тривиальных связностей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Совершенные алгебры голономии

Пара	Алгебра голономии
5.10.2, 4.11.4, 4.20.2, 4.21.2($\lambda \neq 1$), 3.8.9, 3.13.2 ($\mu \neq 0,1/2,1/4$), 3.13.4, 3.14.2, 3.19.16, 3.20.4 ($\lambda \neq 0,1/4$), 3.20.5 ($\mu \neq 1/2$), 3.23.2, 3.27.2, 2.8.6, 2.9.3 ($\mu \neq 0,1/2,1/4$), 2.16.2	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & p \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
4.8.10	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

В таблице $p \in \mathbb{R}$. Если на параметры накладываются дополнительные условия, то они записываются в таблице умножения, в противном случае предполагается, что параметры пробегают все $\mathbb{R}$.

Доказательство. Алгебры голономии тривиальных связностей на однородных пространствах с разрешимыми группами преобразований описаны в работе [4]. Определим, при каких условиях алгебра голономии является совершенной.

Рассмотрим, например, случай 3.23, где

$$\mathfrak{g} = \left\{ \left. \begin{pmatrix} x & y & z \\ & \lambda x & y \\ & & (2\lambda - 1)x \end{pmatrix} \right| \lambda \neq 1, x, y, z \in \mathbb{R} \right\}.$$

Базис подалгебры выбираем, придав одной из латинских переменных значение 1, а остальным – 0, нумерация базисных векторов соответствует алфавиту.

Если $\lambda = 1/2$, то либо пара ($\bar{\mathfrak{g}}$, $\mathfrak{g}$) тривиальна (т. е. существует коммутативный идеал $\mathfrak{m}$ алгебры Ли $\bar{\mathfrak{g}}$, такой, что $\mathfrak{g} \oplus \mathfrak{m} = \bar{\mathfrak{g}}$), тогда она допускает только тривиальную аффинную связность с нулевой кривизной, нулевой алгеброй голономии и не входит в рассматриваемый в работе класс, либо связность не является нулевой, а пара также не входит в рассматриваемый в работе класс. Если $\lambda \neq 1/2$, то пара эквивалентна тривиальной паре (связность на этой паре, тензоры кривизны и кручения, алгебра голономии нулевые), кроме случаев, указанных ниже. В случае $\lambda = 3/5$ пары ($\bar{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g}$) и 3.23.2 эквивалентны. Связность на паре 3.23.2 и ее тензор кручения нулевые, тензор кривизны выписан в табл. 2. Алгебра, порожденная множеством $R(u_i, u_j)$, т. е. $V = \{[\Lambda(x), \Lambda(y)] - \Lambda([x,y]) \mid x, y \in \bar{\mathfrak{g}}\}$, совпадает с алгеброй голономии (таким образом, группа голономии совершенна) и имеет вид, приведенный в теореме. В случае $\lambda = 3/4$ пара либо тривиальна, либо не допускает аффинных связностей. Если $\lambda = 0$, то пара либо тривиальна, либо не является разрешимой и не входит в рассматриваемый в работе класс.

Остальные случаи рассматриваются аналогично.

Других трехмерных однородных пространств с разрешимой $\bar{\mathfrak{g}}$, допускающих только тривиальную аффинную связность с совершенной алгеброй голономии, кроме указанных в теореме, нет.

Таблица 2

Тензоры кривизны

Пара	Тензор кривизны
5.10.2, 4.11.4, 4.20.2, 4.21.2 ($\lambda \neq 1$), 3.8.9, 3.13.2 ($\mu \neq 0,1/2,1/4$), 3.13.4, 3.14.2, 3.19.16, 3.20.4 ($\lambda \neq 0,1/4$), 3.20.5 ($\mu \neq 1/2$), 3.23.2, 3.27.2, 2.8.6, 2.9.3 ($\mu \neq 0,1/2,1/4$), 2.16.2	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
4.8.10	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

Заключение. Таким образом, найдены все трехмерные однородные пространства, на которых действует разрешимая группа преобразований, допускающие только тривиальную аффинную связность с совершенной алгеброй голономии, что эквивалентно описанию соответствующих эффективных пар алгебр Ли. Описаны в явном виде тензоры кривизны и сами совершенные алгебры голономии указанных связностей.

Полученные результаты могут быть использованы при исследовании многообразий, а также иметь приложения в различных областях геометрии, топологии, дифференциальных уравнений, анализа, алгебры, в общей теории относительности, в ядерной физике, физике элементарных частиц и других, поскольку многие фундаментальные задачи в этих областях связаны с изучением однородных пространств и структур на них.

Список литературы

1. Кайгородов В. Р. Римановы пространства. Структура кривизны пространств типа A // Изв. вузов. Математика. 1974. № 5. С. 117–127.
2. Кайгородов В. Р. Структура кривизны пространств типа B // Изв. вузов. Математика. 1975. № 1. С. 104–107.
3. Кайгородов В. Р. Римановы пространства. Рекуррентность второго порядка // Изв. вузов. Математика. 1975. № 2. С. 112–115.
4. Можей Н. П. Ненулевые алгебры голономии тривиальных связностей на однородных пространствах с разрешимыми группами преобразований // Известия Гомельского государственного университета. 2019. № 3 (114). С. 170–177
5. Wang H. C. On invariant connections over a principal fibre bundle // Nagoya Math. J. 1958. No 13. P. 1–19.

References

1. Kaygorodov V. R. Riemannian spaces. Curvature structure of spaces of type A. *Izvestiya vuzov. Matematika* [Russian Mathematics], 1974, no 5, pp. 117–127 (In Russian).
2. Kaygorodov V. R. Curvature structure of spaces of type B. *Izvestiya vuzov. Matematika* [Russian Mathematics], 1975, no 1, pp. 104–107 (In Russian).
3. Kaygorodov V. R. Riemannian spaces. Second order recurrence. *Izvestiya vuzov. Matematika* [Russian Mathematics], 1975, no 2, pp. 112–115 (In Russian).
4. Mozhey N. P. Nonzero holonomy algebras of trivial connections on homogeneous spaces with solvable transformation groups. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Gomel State University News, 2019, no 3 (114), pp. 170–177 (In Russian).
5. Wang H. C. On invariant connections over a principal fibre bundle. *Nagoya Math. J.,* 1958, no. 13, pp. 1–19.

Информация об авторе

Можей Наталья Павловна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, Республика Беларусь). E-mail: mozheynatalya@mail.ru

Information about the author

Mozhey Natalya Pavlovna – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Software for Information Technologies. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (6, P. Brovki str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: mozheynatalya@mail.ru

Поступила после доработки 27.02.2022