

## ПОЛИАДИЧЕСКИЕ ФАКТОРГРУППЫ ПОЛИАДИЧЕСКИХ ГРУПП СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА. III

А.М. Гальмак

*Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Могилёв*

## POLYADIC QUOTIENT GROUPS OF POLYADIC GROUPS OF SPECIAL FORM. III

A.M. Gal'mak

*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev*

**Аннотация.** В статье продолжается изучение  $l$ -арных факторгрупп полиадических групп специального вида.

**Ключевые слова:** полиадическая операция, полунвариантная  $l$ -арная подгруппа,  $n$ -полунвариантная  $l$ -арная подгруппа, факторгруппа, конгруэнция, смежный класс.

**Для цитирования:** Гальмак, А.М. Полиадические факторгруппы полиадических групп специального вида. III / А.М. Гальмак // Проблемы физики, математики и техники. – 2026. – № 1 (66). – С. 43–46. – DOI: [https://doi.org/10.54341/20778708\\_2026\\_1\\_66\\_43](https://doi.org/10.54341/20778708_2026_1_66_43). – EDN: PKPFNE

**Abstract.** The study on the  $l$ -ary quotient groups of polyadic groups of special form is carried on.

**Keywords:** polyadic operation, semiinvariant  $l$ -ary subgroup,  $n$ -semiinvariant  $l$ -ary subgroup, quotient group, congruence, coset.

**For citation:** Gal'mak, A.M. Polyadic quotient groups of polyadic groups of special form. III / A.M. Gal'mak // Problems of Physics, Mathematics and Technics. – 2026. – № 1 (66). – P. 43–46. – DOI: [https://doi.org/10.54341/20778708\\_2026\\_1\\_66\\_43](https://doi.org/10.54341/20778708_2026_1_66_43) (in Russian). – EDN: PKPFNE

### Введение

В статье продолжается изучение  $l$ -арных факторгрупп  $l$ -арной группы  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  специального вида по её полунвариантным  $l$ -арным подгруппам, начатое в статьях [1], [2]. Данная статья составляет с ними единое целое, что отражено в названиях статей. В связи с этим нумерация разделов в настоящей статье продолжает нумерацию разделов в [1], [2]. Сохраняется преемственность в отношении соглашений, определений и обозначений из [1], [2], все они остаются в силе и в данной статье. В ней ссылки на результаты из работ [1], [2] даются без указания на эти работы. Например, ссылка на теорему 2.1 означает, что имеется в виду теорема 2.1 из раздела 2 в [1], а ссылка на лемму 3.2 означает, что имеется в виду лемма 3.2 из раздела 3 в [2]. Целью данной статьи является получение новых результатов, являющихся аналогами и обобщениями основных результатов из [1], [2].

### 5 Вспомогательные результаты

Приведём новое доказательство леммы 3.3, дополнив её формулировку.

**Лемма 5.1.** Пусть  $\langle A, \eta \rangle$  –  $n$ -арная группа,  $\langle B, \eta \rangle$  – её  $n$ -арная подгруппа,  $d_1, \dots, d_{l-1} \in A$ . Тогда:

1) если существуют элементы

$$b_1, \dots, b_{n-1} \in B$$

такие, что последовательности  $d_1 \dots d_{l-1}$  и  $b_1 \dots b_{n-1}$  эквивалентны в смысле Поста, то

$$\eta(d_1 \dots d_{l-1}B) = B, \quad (5.1)$$

$$\eta(Bd_1 \dots d_{l-1}) = B, \quad (5.2)$$

$$\eta(d_1 \dots d_{l-1}B) = \eta(Bd_1 \dots d_{l-1}); \quad (5.3)$$

2) если верно одно из равенств (5.1) или (5.2), то существуют элементы  $b_1, \dots, b_{n-1} \in B$  такие, что последовательности  $d_1 \dots d_{l-1}$  и  $b_1 \dots b_{n-1}$  эквивалентны в смысле Поста, а также верны второе из указанных равенств и равенство (5.3).

**Доказательство.** 1) Так как последовательности  $d_1 \dots d_{l-1}$  и  $b_1 \dots b_{n-1}$  эквивалентны в смысле Поста, то

$$\eta(d_1 \dots d_{l-1}b) = \eta(b_1 \dots b_{n-1}b),$$

$$\eta(bd_1 \dots d_{l-1}) = \eta(bb_1 \dots b_{n-1})$$

для любого  $b \in B$ . Поэтому

$$\begin{aligned} B &= \{\eta(b_1 \dots b_{n-1}b) \mid b \in B\} = \\ &= \{\eta(d_1 \dots d_{l-1}b) \mid b \in B\} = \eta(d_1 \dots d_{l-1}B), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \{\eta(bb_1 \dots b_{n-1}) \mid b \in B\} = \\ &= \{\eta(bd_1 \dots d_{l-1}) \mid b \in B\} = \eta(Bd_1 \dots d_{l-1}), \end{aligned}$$

то есть верны равенства (5.1) и (5.2), а значит и равенство (5.3).

2) Если верно, например, равенство (5.1), то для любого  $c \in B$  найдётся  $b \in B$  такой, что

$$\eta(d_1 \dots d_{l-1}c) = b \in B. \quad (5.4)$$

А так как  $\langle B, \eta \rangle - n$ -арная группа, то для  $c, b \in B$  в ней разрешимо уравнение

$$\eta(x_1 \dots x_{n-1}c) = b.$$

Следовательно, найдутся такие  $b_1, \dots, b_{n-1} \in B$ , что

$$\eta(b_1 \dots b_{n-1}c) = b. \quad (5.5)$$

Из равенства правых частей в (5.4) и (5.5) следует равенство

$$\eta(d_1 \dots d_{l-1}c) = \eta(b_1 \dots b_{n-1}c),$$

что означает эквивалентность в смысле Поста последовательностей  $d_1 \dots d_{l-1}$  и  $b_1 \dots b_{n-1}$ . Поэтому согласно 1), верны равенства (5.2) и (5.3).

Для равенства (5.2) доказательство утверждения 2) проводится аналогично.  $\square$

Полагая в лемме 5.1  $d_1 = \dots = d_{l-1} = d$ , получим следствие, дополняющее следствие 3.1.

**Следствие 5.1.** Пусть  $\langle A, \eta \rangle - n$ -арная группа,  $\langle B, \eta \rangle - e\ddot{e}$   $n$ -арная подгруппа,  $d \in A$ . Тогда:

1) если существуют элементы  $b_1, \dots, b_{n-1} \in B$  такие, что последовательности  $\underbrace{d \dots d}_{l-1}$  и  $b_1 \dots b_{n-1}$  эквивалентны в смысле Поста, то

$$\eta(\underbrace{d \dots d}_{l-1} B) = B, \quad (5.6)$$

$$\eta(B \underbrace{d \dots d}_{l-1}) = B, \quad (5.7)$$

$$\eta(\underbrace{d \dots d}_{l-1} B) = \eta(B \underbrace{d \dots d}_{l-1}); \quad (5.8)$$

2) если верно одно из равенств (5.6) или (5.7), то существуют элементы  $b_1, \dots, b_{n-1} \in B$  такие, что последовательности  $\underbrace{d \dots d}_{l-1}$  и  $b_1 \dots b_{n-1}$  эквивалентны в смысле Поста, а также верны второе из указанных равенств и равенство (5.8).

Нам понадобятся ещё две леммы.

**Лемма 5.2** [3; 4, Предложение 3.5]. Если элемент  $a$   $n$ -арной группы  $\langle A, \eta \rangle$  имеет конечный  $n$ -адический порядок  $t$ , то  $a^{[r]} = a$  тогда только тогда, когда  $r$  кратно  $t$ .

**Лемма 5.3.** Если  $l = s(n-1) + 1$ , где  $s \geq 1$ ,  $\langle B, \eta \rangle -$  полуинвариантная  $n$ -арная подгруппа  $n$ -арной группы  $\langle A, \eta \rangle$ , то порядок смежного класса  $\eta(\underbrace{a B \dots B}_{n-1})$   $n$ -арной факторгруппы

$\langle A/B, \eta \rangle$  делит  $s$  тогда и только тогда, когда последовательность  $\underbrace{a \dots a}_{l-1}$  эквивалентна в

смысле Поста последовательности  $b_1 \dots b_{n-1}$  для некоторых  $b_1, \dots, b_{n-1} \in B$ .

**Доказательство.** Необходимость. Так как порядок смежного класса  $\eta(\underbrace{a B \dots B}_{n-1})$  делит  $s$ , то

по лемме 5.2

$$(\eta(\underbrace{a B \dots B}_{n-1}))^{[s]} = \eta(\underbrace{a B \dots B}_{n-1}), \quad (5.9)$$

откуда ввиду леммы 3.2 следует

$$\eta(\underbrace{a^{[s]} B \dots B}_{n-1}) = \eta(\underbrace{a B \dots B}_{n-1}). \quad (5.10)$$

Перепишем полученное равенство, применив определение полиадической степени

$$\eta(\underbrace{\eta(a \dots a)}_{s(n-1)+1} \underbrace{B \dots B}_{n-1}) = \eta(\underbrace{a B \dots B}_{n-1}), \quad (5.11)$$

то есть

$$\eta(\underbrace{\eta(a \dots a)}_l \underbrace{B \dots B}_{n-1}) = \eta(\underbrace{a B \dots B}_{n-1}), \quad (5.12)$$

откуда, учитывая нейтральность последовательности  $\underbrace{\bar{a} a \dots a}_{n-2}$ , а также равенство  $\underbrace{[B \dots B]}_n = B$ ,

получаем

$$\begin{aligned} \eta(\underbrace{\bar{a} a \dots a}_{n-3} \underbrace{\eta(a \dots a)}_l \underbrace{B \dots B}_{n-1}) &= \\ &= \eta(\underbrace{\bar{a} a \dots a}_{n-3} \underbrace{\eta(a B \dots B)}_{n-1} B), \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned} \eta(\underbrace{\bar{a} a \dots a}_{n-2} \underbrace{a \dots a}_{l-1} \underbrace{[B \dots B]}_n) &= \\ &= \eta(\underbrace{\bar{a} a \dots a}_{n-2} \underbrace{[B \dots B]}_n), \end{aligned} \quad (5.14)$$

$$\eta(\underbrace{a \dots a}_l B) = B. \quad (5.15)$$

Поэтому согласно утверждению 2) следствия 5.1, последовательность  $\underbrace{a \dots a}_{l-1}$  эквивалентна в смысле

Поста последовательности  $b_1 \dots b_{n-1}$  для некоторых  $b_1, \dots, b_{n-1} \in B$ .

**Достаточность.** Если последовательность  $\underbrace{a \dots a}_{l-1}$  эквивалентна в смысле Поста последовательности  $b_1 \dots b_{n-1}$  для некоторых  $b_1, \dots, b_{n-1} \in B$ ,

то согласно утверждению 1) следствия 5.1, верны равенства

$$\eta(\underbrace{a \dots a}_{l-1} B) = B, \quad (5.16)$$

$$\eta(\underbrace{a \dots a}_{l-1} B) = \eta(\underbrace{B a \dots a}_{l-1}). \quad (5.17)$$

Из (5.16) следует

$$\eta(\underbrace{a B \dots B}_{n-2} \underbrace{a \dots a}_{l-1} B) = \eta(\underbrace{a B \dots B}_{n-2} B).$$

Применив к левой части полученного равенства  $n-2$  раза равенство (5.17), последовательно получим

$$\eta(a \underbrace{B \dots B}_n a \dots a \underbrace{B B}_{l-1}) = \eta(a \underbrace{B \dots B}_{n-1}),$$

$$\dots$$

$$\eta(a \underbrace{B a \dots a B}_{l-1} \dots \underbrace{B \dots B}_{n-2}) = \eta(a \underbrace{B \dots B}_{n-1}),$$

$$\eta(a \underbrace{a \dots a B}_{l-1} \dots \underbrace{B \dots B}_{n-2}) = \eta(a \underbrace{B \dots B}_{n-1}),$$

то есть верно (5.12). Далее последовательно получаем (5.11), (5.10) и (5.9). Из (5.9) ввиду леммы 5.2, следует, что порядок смежного класса  $\eta(a \underbrace{B \dots B}_{n-1})$  делит  $s$ .  $\square$

Полагая в лемме 5.3  $s = 1$ , получим

**Следствие 5.2.** Если  $\langle B, \eta \rangle$  – полуинвариантная  $n$ -арная подгруппа  $n$ -арной группы  $\langle A, \eta \rangle$ , то порядок смежного класса  $\eta(a \underbrace{B \dots B}_{n-1})$   $n$ -арной факторгруппы  $\langle A/B, \eta \rangle$

равен 1 тогда и только тогда, когда последовательность  $a \dots a$  эквивалентна в смысле Поста последовательности  $b_1 \dots b_{n-1}$  для некоторых  $b_1, \dots, b_{n-1} \in B$ .

**Замечание 5.1.** Легко поверяется, что если  $\langle B, \eta \rangle$  – полуинвариантная  $n$ -арная подгруппа  $n$ -арной группы  $\langle A, \eta \rangle$ , то порядок смежного класса  $\eta(a \underbrace{B \dots B}_{n-1})$   $n$ -арной факторгруппы

$\langle A/B, \eta \rangle$  равен 1 тогда и только тогда, когда

$$\eta(a \underbrace{\dots a}_n \underbrace{B \dots B}_{n-1}) = \eta(a \underbrace{B \dots B}_{n-1}).$$

Поэтому следующее следствие равносильное следствию 5.2.

**Следствие 5.3.** Если  $\langle B, \eta \rangle$  – полуинвариантная  $n$ -арная подгруппа  $n$ -арной группы  $\langle A, \eta \rangle$ ,  $a \in A$ , то

$$\eta(a \underbrace{\dots a}_n \underbrace{B \dots B}_{n-1}) = \eta(a \underbrace{B \dots B}_{n-1})$$

тогда и только тогда, когда последовательность  $a \dots a$  эквивалентна в смысле Поста последовательности  $b_1 \dots b_{n-1}$  для некоторых  $b_1, \dots, b_{n-1} \in B$ .

## 6 Основные результаты

Применим лемму 5.3 для получения новых результатов, соответствующих результатам из [1], [2].

Лемма 5.3 и теорема 2.1 позволяет сформулировать следующий результат, эквивалентный этой теореме.

**Теорема 6.1.** Пусть  $\langle B, \eta \rangle$  – полуинвариантная  $n$ -арная подгруппа  $n$ -арной группы  $\langle A, \eta \rangle$ , в  $A$  существует такой элемент  $d$ , что порядок смежного класса  $H = \eta(d \underbrace{B \dots B}_{n-1})$

$n$ -арной факторгруппы  $\langle A/B, \eta \rangle$  делит  $s$ ; подстановка  $\sigma$  из  $S_k$  удовлетворяет условию  $\sigma^l = \sigma$ . Тогда:

1) декартова степень  $H^k$  замкнута относительно  $l$ -арной операции  $\eta_{s, \sigma, k}$ , а универсальная алгебра  $\langle H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  является полуинвариантной  $l$ -арной подгруппой  $l$ -арной группы  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$ ;

2) для полуинвариантных в  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$   $l$ -арных подгрупп  $\langle H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  и  $\langle B^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  соответствующие  $l$ -арные факторгруппы совпадают:

$$\langle A^k/H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle = \langle A^k/B^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle;$$

3) конгруэнции  $\rho_{H^k}$  и  $\rho_{B^k}$   $l$ -арной группы  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$ , определяемые полуинвариантными  $l$ -арными подгруппами  $\langle H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  и  $\langle B^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  совпадают:  $\rho_{H^k} = \rho_{B^k}$ ;

4) если  $B \neq A$ , для некоторого  $i = 2, \dots, s$  подстановка  $\sigma^{(i-1)(n-1)}$  не является тождественной, то  $l$ -арная подгруппа  $\langle H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  не является  $n$ -полуинвариантной в  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$ .

Замечание 5.1, следствие 5.2 и теорема 2.2 позволяют сформулировать следующий результат, эквивалентный этой теореме.

**Теорема 6.2.** Пусть  $\langle B, \eta \rangle$  – полуинвариантная  $n$ -арная подгруппа  $n$ -арной группы  $\langle A, \eta \rangle$ , существует элемент  $a \in A$  такой, что

$$\eta(a \underbrace{\dots a}_n \underbrace{B \dots B}_{n-1}) = \eta(a \underbrace{B \dots B}_{n-1});$$

подстановка  $\sigma$  из  $S_k$  удовлетворяет условию  $\sigma^l = \sigma$ . Тогда справедливы утверждения 1)–4) теоремы 6.1, а также утверждение: если подстановка  $\sigma^{n-1}$  является тождественной, то  $\langle H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  –  $n$ -полуинвариантная  $l$ -арная подгруппа  $l$ -арной группы  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$ .

**Замечание 6.1.** Утверждения 2) и 3) теоремы 2.1 справедливы и для теорем 4.1 и 4.2.

В [5] была доказана приведённая ниже теорема.

**Теорема 6.3** [5, теорема 4.2.1]. Пусть  $B$  – нормальная подгруппа группы  $A$ , отличная от неё; факторгруппа  $A/B$  является циклической и имеет порядок, делящий  $l-1$ ; подстановка  $\sigma$  из  $S_k$  удовлетворяет условию  $\sigma^l = \sigma$ . Тогда для любого смежного класса  $H$  факторгруппы  $A/B$  декартова степень  $H^k$  замкнута относительно  $l$ -арной операции  $[\ ]_{l, \sigma, k}$ , а универсальная алгебра  $\langle H^k, [\ ]_{l, \sigma, k} \rangle$  является полуинвариантной  $l$ -арной подгруппой  $l$ -арной группы  $\langle A^k, [\ ]_{l, \sigma, k} \rangle$ . Если же  $\sigma$  – нетождественная подстановка, то  $l$ -арная подгруппа  $\langle H^k, [\ ]_{l, \sigma, k} \rangle$  не является инвариантной в  $\langle A^k, [\ ]_{l, \sigma, k} \rangle$ .

Лемма 5.3, теорема 4.1 и замечание 6.1 позволяют сформулировать следующий результат, обобщающий теорему 6.3.

**Теорема 6.4.** Пусть  $\langle B, \eta \rangle$  – полуинвариантная  $n$ -арная подгруппа  $n$ -арной группы

$\langle A, \eta \rangle$ , отличная от неё;  $n$ -арная факторгруппа  $\langle A/B, \eta \rangle$  является циклической, порождаемой смежным классом  $\eta(\underbrace{aB \dots B}_{n-1})$ , порядок ко-

торого делит  $s$ ; подстановка  $\sigma$  из  $S_k$  удовлетворяет условию  $\sigma^l = \sigma$ . Тогда:

1) для любого смежного класса  $H$   $n$ -арной факторгруппы  $\langle A/B, \eta \rangle$  декартова степень  $H^k$  замкнута относительно  $l$ -арной операции  $\eta_{s, \sigma, k}$ , а универсальная алгебра  $\langle H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  является полуинвариантной  $l$ -арной подгруппой  $l$ -арной группы  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$ ;

2) для полуинвариантных в  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$   $l$ -арных подгрупп  $\langle H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  и  $\langle B^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  соответствующие  $l$ -арные факторгруппы совпадают:

$$\langle A^k / H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle = \langle A^k / B^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle;$$

3) конгруэнции  $\rho_{H^k}$  и  $\rho_{B^k}$   $l$ -арной группы  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$ , определяемые полуинвариантными  $l$ -арными подгруппами  $\langle H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  и  $\langle B^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  совпадают:  $\rho_{H^k} = \rho_{B^k}$ ;

4) если для некоторого  $i = 2, \dots, s$  подстановка  $\sigma^{(i-1)(n-1)}$  не является тождественной, то  $l$ -арная подгруппа  $\langle H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  не является  $n$ -полуинвариантной в  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$ .

Замечание 5.1, следствие 5.2 и теорема 6.4 позволяют сформулировать следующий результат.

**Теорема 6.5.** Пусть  $\langle B, \eta \rangle$  – полуинвариантная  $n$ -арная подгруппа  $n$ -арной группы  $\langle A, \eta \rangle$ , отличная от неё;  $n$ -арная факторгруппа  $\langle A/B, \eta \rangle$  является циклической, порождаемой смежным классом  $\eta(\underbrace{aB \dots B}_{n-1})$ , выполняется

условие

$$\eta(\underbrace{a \dots a}_n \underbrace{B \dots B}_{n-1}) = \eta(\underbrace{aB \dots B}_{n-1}),$$

подстановка  $\sigma$  из  $S_k$  удовлетворяет условию  $\sigma^l = \sigma$ . Тогда справедливы утверждения 1)–4) теоремы 6.4, а также утверждение: если подстановка  $\sigma^{n-1}$  является тождественной, то  $\langle H^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$  –  $n$ -полуинвариантная  $l$ -арная подгруппа  $l$ -арной группы  $\langle A^k, \eta_{s, \sigma, k} \rangle$ .

Применение леммы 5.3 позволяет получить следующую теорему, которая доказывается аналогично теореме 3.1, при этом вместо теоремы 2.1 применяется теорема 6.4.

**Теорема 6.6.** Пусть  $\langle B, \eta \rangle$  –  $n$ -арная подгруппа полуабелевой  $n$ -арной группы  $\langle A, \eta \rangle$ , отличная от неё;  $n$ -арная факторгруппа  $\langle A/B, \eta \rangle$  является циклической, порождаемой смежным классом  $\eta(\underbrace{aB \dots B}_{n-1})$ , порядок которо-

го делит  $s$ ; подстановка  $\sigma$  из  $S_k$  удовлетворяет условию  $\sigma^n \neq \sigma$ ,  $\sigma^l = \sigma$ . Тогда справедливы все утверждения теоремы 6.1. Кроме того, универсальная алгебра  $\langle H^k, \eta_{n, \sigma, k} \rangle$  является полуинвариантной, но не  $n$ -полуинвариантной  $l$ -арной подгруппой в полуабелевой  $l$ -арной группе  $\langle A^k, \eta_{n, \sigma, k} \rangle$ , которая не является  $n$ -полуабелевой.

**Замечание 6.2.** В теореме 6.6, как и в теореме 3.1, в качестве подстановки  $\sigma$  можно выбрать нетождественную подстановку с условием  $\sigma^{n+1} = \sigma$ , и положить  $l = n(n-1) + 1$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гальмак, А.М. Полиадические факторгруппы полиадических групп специального вида. I / А.М. Гальмак // Проблемы физики, математики и техники. – 2025. – № 3 (64). – С. 84–89.
2. Гальмак, А.М. Полиадические факторгруппы полиадических групп специального вида. II / А.М. Гальмак // Проблемы физики, математики и техники. – 2025. – № 4 (65). – С. 62–66.
3. Post, E.L. Polyadic groups / E.L. Post // Trans. Amer. Math. Soc. – 1940. – Vol. 48, № 2. – P. 208–350.
4. Русаков, С.А. Алгебраические  $n$ -арные системы / С.А. Русаков. – Минск: Навука і тэхніка, 1992. – 245 с.
5. Гальмак, А.М. Многочестные операции на декартовых степенях / А.М. Гальмак. – Минск: Изд. центр БГУ, 2009. – 265 с.

Поступила в редакцию 12.02.2026.

#### Информация об авторах

Гальмак Александр Михайлович – д.ф.-м.н., профессор