

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу  
**Георгия Сергеевича Черных**  
«Операции и умножения, связанные с  $SU$ -  
и  $c_1$ -сферическими бордизмами»,  
представленную на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.1.3 «Геометрия и топология»

Диссертация Георгия Черных посвящена теории бордизмов и, в частности, исследованию взаимосвязей между теориями унитарных и специальных унитарных бордизмов, задаваемых спектрами Тома  $MU$  и  $MSU$ , и теорией  $c_1$ -сферических бордизмов, задаваемой спектром Коннера–Флойда  $W$ .

Вычисления в теории  $SU$ -бордизмов в конце 1960-х годов явились итогом бурного развития алгебраической топологии в 1950–60-х, вобрали в себя практически все доступные к тому времени топологические инструменты (геометрические методы, кохомологические операции, спектральные последовательности Адамса и Адамса–Новикова, техника формальных групп) и обозначили границы применимости этих методов. Тем не менее, здесь осталось большое количество сложных нерешённых задач и открытых вопросов. Пожалуй, главным из них является отсутствие явного и удовлетворительного описания кольца коэффициентов  $\Omega^{SU} = SU_*(pt)$  теории  $SU$ -бордизмов. Замечательные результаты Георгия Черных можно рассматривать как важное продвижение в этом направлении.

Получено полное описание  $SU$ -линейных кохомологических операций в комплексных кобордизмах. А именно, доказано, что каждая такая операция  $f \in [MU, MU]$  представляется в виде ряда  $\sum_{i \geq 0} \alpha_i \partial_i$ , где  $\alpha_i \in \Omega_U = U^*(pt)$ , а  $\partial_i$  — операции, введённые С. П. Новиковым как обобщение геометрических операций Коннера–Флойда  $\partial = \partial_1$  и  $\Delta$ .

Дана полная классификация проекторов  $\pi: MU \rightarrow W$ , где  $W$  — спектр теории  $c_1$ -сферических бордизмов Коннера–Флойда. Также дано описание  $SU$ -линейных проекторов. Эта классификация даёт полное объяснение обнаруженному ранее Г. Черных различию между  $SU$ -линейными проекторами Стонга и Коннера–Флойда, которые считались совпадающими в 1960-х годах.

Получена классификация  $SU$ -билинейных умножений в теории  $W$ , и среди них выделены умножения, получаемые из  $SU$ -линейных проекторов  $MU \rightarrow W$ .

Каждый  $SU$ -линейный проектор  $\pi: MU \rightarrow W$  задаёт не только умножение в теории  $W$ , но и комплексную ориентацию этой теории, и тем самым соответствующую формальную группу  $F^\pi$ . Ещё одним важным результатом работы Черных является следующий: ни для какой комплексной ориентации теории  $W$  коэффициенты соответствующей формальной группы  $F^\pi$  не порождают кольца коэффициентов  $\pi_*(W)$  теории  $W$ . Это уточняет и обобщает результат В. М. Бухштабера 1973 г. и показывает существенное различие между комплексно-ориентированными теориями  $W$  и  $MU$ .

Наконец, венчает диссертационную работу Г. Черных замечательный результат о точности по Ландвеберу теории  $c_1$ -сферических бордизмов  $W$  с произвольным  $SU$ -билинейным умножением.

Таким образом, диссертация Георгия Черных представляет собой законченное исследование высокого научного уровня, в котором решены актуальные задачи

алгебраической топологии. Результаты диссертации являются новыми, прошли всестороннюю апробацию на научных семинарах и международных конференциях, вызвали значительный интерес и получили признание специалистов. Они изложены в трёх статьях, опубликованных в рецензируемых журналах высокого уровня.

Считаю, что диссертация Георгия Сергеевича Черных полностью соответствует критериям, установленным в «Положении о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова», а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.3 «Геометрия и топология».

Научный руководитель,  
профессор кафедры высшей геометрии и топологии  
механико-математического факультета  
МГУ имени М. В. Ломоносова  
д.ф.-м.н.

Т. Е. Панов

28 июля 2023г г.