

УДК 372.211

## МЕТОДЫ ВВЕДЕНИЯ ТОПОЛОГИИ

**Атамурадова Дилшода Равшанкуловна**

Преподаватель кафедры “Алгебра, геометрия, математический анализ”  
ТГПУ имени Низами,

**Атабаева Кундуз Арслоновна**

Магистр по специальности методики преподавания точных и естественных  
наук (математика), НГПИ имени Ажинияза

### АННОТАЦИЯ

*В статье представлены методы введения в топологию. Приведены пояснительные примеры этих методов. Изложены задания для самообразования студентов.*

***Ключевые слова:** топологическое пространство, замкнутое множество, оператор замыкания, внутренность множеств, база топологии*

## ТОПОЛОГИЯ КИРИТИШ УСУЛЛАРИ

### АННОТАЦИЯ

*Мақола топологияга кириш усуллари келтирилган. Бу усулларни тушунтиришга доир бир неча мисоллар банд этилган. Талабалар мустақил бажаришлари учун топшириқлар берилган.*

***Таянч сўзлар:** топологик фазо, ёпиқ тўплам, ёпилма оператори, тўпламнинг ичи, топология базаси*

## METHODS OF INTRODUCING TOPOLOGY

### ABSTRACT

*In the paper some methods of introduction a topology are represented. Several different of these methods are listed and examples of these methods are given in a clear manner.*

***Key words:** topological space, closed set, closure operator, interior of a set, base of a topology.*

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что высшие учебные заведения страны постепенно переходят на кредитно-модульную систему. Главной особенностью этой системы является то, что основной упор делается на самостоятельное обучение при одновременном снижении нагрузки учащихся на учебных занятиях. В результате процесс

обучения ориентирован на работу студента над собой, а профессорско-преподавательский состав ограничивается функцией предоставления готового материала и анализом самостоятельно изученным студентом материалов.

В данной статье описаны дидактические материалы для самостоятельного освоения студентами материалов курса общей топологии, таких как топологическая пространственная база данных, база точек. Была предпринята попытка написать материал статьи простым языком. Для усвоения изложенного в статье материала студенту не нужны базовые математические знания, знание аксиом определения топологии. При написании данной статьи использованы материалы и методы лекций профессора А.А.Зайтова, прочитанных в Чирчикском педагогическом университете [1].

Под введением топологии на множестве  $X$  понимаем [2] выделение семейства  $\tau$  его подмножеств, удовлетворяющего аксиомам  $(T1) - (T3)$ . Тогда пара  $(X, \tau)$  становится топологическим пространством [4, 5]. Кроме того, что выделение семейства, удовлетворяющего условиям  $(O1) - (O3)$ , также равносильно выделению семейства  $\tau$ , удовлетворяющего аксиомам  $(T1) - (T3)$  [1]. Ещё мы отметим, что если на множестве выделено семейство, удовлетворяющее условиям  $(C1) - (C3)$ , то семейство, состоящее из всех дополнений элементов выделенного семейства, образует топологию на данном множестве.

## **ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

Ниже рассмотрим и другие методы введения топологии.

**Введение топологии замыканием множества.** Пусть  $(X, \tau)$  – топологическое пространство и  $M$  – некоторое подмножество  $X$ . Семейство всех замкнутых множеств пространства  $X$ , содержащих  $M$ , обозначим через  $C_M$ , т. е.

$$C_M = \{F \subset X: F \supset M, X \setminus F \in \tau\}$$

В силу свойства  $(C1)$  замкнутых множеств имеем  $C_M \neq \emptyset$  и согласно свойству  $(C2)$  пересечение  $\cap C_M$  замкнуто. Это пересечение обозначают через  $\bar{M}$  или  $[M]$ , т. е.

$$[M] = \bar{M} = \cap C_M.$$

Очевидно, что  $[M]$  – наименьшее множество, содержащее множества  $M$ . Множество  $[M]$  называется *замыканием* множества  $M$ .

**Задания.** а) Для множеств  $A$  и  $B$  топологического пространства  $X$  докажите импликацию

$$A \subset B \Rightarrow [A] \subset [B]$$

б) Докажите, что множество  $A$  топологического пространства  $X$  замкнуто тогда и только тогда, когда  $[A] = A$ .

Наиболее важными свойствами оператора замыкания являются следующие:

$$(CO1) [\emptyset] = \emptyset;$$

$$(CO2) A \subset [A], \forall A \subset X;$$

$$(CO3) [A \cup B] = [A] \cup [B], \forall A, B \subset X;$$

$$(CO4) [[A]] = [A], \forall A \subset X.$$

**Задания.** а) Доказать, что множества произвольного топологического пространства  $(X, \tau)$  удовлетворяют свойства (CO1) – (CO4).

б) Постройте топологическое пространство, и укажите что для него справедливы свойства (CO1) – (CO4).

Одно из важных применений оператора замыканий приведено в следующей теореме.

**Теорема 1.** Пусть даны множество  $X$  и некоторый оператор  $[\cdot]$ , ставящий в соответствие каждому множеству  $M \subset X$  множество  $[M] \subset X$ , такое, что выполнены условия (CO1) – (CO4). Тогда семейство

$$\tau_{[\cdot]} = \{M \subset X: [X \setminus M] = X \setminus M\}$$

удовлетворяет аксиомам (T1) – (T3) определения топологии. Для каждого  $M \subset X$  множество  $[M]$  является замыканием множества  $M$  в топологическом пространстве  $(X, \tau_{[\cdot]})$ .

Такая топология  $\tau_{[\cdot]}$  называется *топологией, порожденной оператором замыкания  $[\cdot]$* .

**Пример 1.** Пусть  $X = \{0, 1, 2, 3, 4\}$ . Полагая

$$[A] = \begin{cases} A, & \text{если } A = \emptyset, \\ A \cup \{0\}, & \text{если } A \neq \emptyset \end{cases}$$

определим на  $X$  оператор  $[\cdot]: X \rightarrow X$ .

**Задания.** а) Доказать, что определенный таким образом оператор  $[\cdot]$  удовлетворяет условиям (CO1) – (CO4).

б) Доказать, что для каждой точки  $x \in X \setminus \{0\}$  множество  $\{x\}$  открыто, но не замкнуто относительно топологии, введенной этим оператором замыкания.

c) Доказать, что множество  $\{0\}$  замкнуто в  $X$  относительно топологии, порожденной этим оператором замыкания.

d) Указать все замкнутые множества  $A \subset X$  относительно топологии, порожденной этим оператором замыкания.

**Введение топологии внутренностью множества.** Пусть  $(X, \tau)$  – топологическое пространство и  $M$  – некоторое подмножество  $X$ . Точка  $x \in M$  называется *внутренней точкой* множества  $M$ , если существует окрестность  $O_x \in \tau$  точки  $x$  такая, что  $O_x \subset M$  [2].

Множество всех внутренних точек множества  $M$  называется *внутренностью* множества  $M$  и обозначается  $Int_x M$  или  $Int M$ .

**Задания.** a) Для множеств  $A$  и  $B$  топологического пространства  $X$  докажите импликацию

$$A \subset B \Rightarrow Int A \subset Int B.$$

b) Докажите, что множество  $A$  топологического пространства  $X$  открыто тогда и только тогда, когда  $Int A = A$ .

c) Для множества  $A$  топологического пространства  $X$  докажите равенство

$$Int A = \bigcup \{U : U \in \tau, U \subset A\}$$

Операторы замыкания и внутренности связаны следующим равенством

$$Int A = X \setminus [X \setminus A].$$

здесь  $X$  – топологическое пространство,  $A$  – произвольное его подмножество.

Оператор  $Int$  взятия внутренности множества обладает следующими свойствами:

$$(IO1) Int X = X;$$

$$(IO2) Int A = A, \forall A \subset X;$$

$$(IO3) Int(A \cap B) = Int A \cap Int B, \forall A, B \subset X;$$

$$(IO4) Int Int A = A, \forall A \subset X.$$

**Теорема 2.** Пусть даны множество  $X$  и некоторый оператор  $Int$ , ставящий в соответствие каждому множеству  $M \subset X$  множество  $Int M \subset X$ , такое, что выполнены условия (IO1) – (IO4). Тогда семейство

$$\tau_{Int} = \{M \subset X : Int M = M\}$$

удовлетворяет аксиомам (T1) – (T3) определения топологии. Для каждого  $M \subset X$  множество  $IntM$  является внутренностью множества  $M$  в топологическом пространстве  $(X, \tau_{Int})$ .

Такая топология  $\tau_{Int}$  называется *топологией, порожденной оператором внутренности Int*.

**Пример 2.** Пусть  $X = \{0,1,2,3,4\}$  и  $X_0 = \{0,1,2\}$ . Полагая

$$IntA = \begin{cases} A, & \text{если } A = X, \\ A \cap X_0, & \text{если } A \neq X \end{cases}$$

определим оператор  $Int: X \rightarrow X$ .

**Задания.** a) Доказать, что определенный таким образом оператор  $Int$  удовлетворяет условиям (IO1) – (IO4).

b) Укажите все открытые множества пространства  $X$ .

c) Убедитесь в том, что все подмножества  $X_0$  и всё множество  $X$  и только они открытые множества пространства  $X$ .

**Пример 3.** Рассмотрим множество

$$X = \mathbb{N} = \{1,2,\dots,n,\dots\}$$

и семейство

$$\tau = \{A \subset X: (1 \notin A) \vee (|X \setminus A| < \infty)\}.$$

**Задания.** a) Установить, что  $(X, \tau)$  – топологическое пространство.

b) Докажите, что для каждого  $n \in X \setminus \{1\}$  множество  $\{n\}$  открыто-замкнуто.

c) Докажите, что множество  $\{1\}$  замкнуто, но не открыто.

d) Для каждого множества  $A \subset X$  докажите следующее

$$[A] = \begin{cases} A, & \text{если } |A| < \aleph_0, \\ A \cup \{1\}, & \text{если } |A| = \aleph_0. \end{cases}$$

e) Для каждого множества  $A \subset X$  докажите следующее

$$Int A = \begin{cases} A, & \text{если } |A| < \aleph_0, \\ A \cup \{1\}, & \text{если } |A| = \aleph_0. \end{cases}$$

**Введение топологии базой.** Пусть даны множество  $X$  и семейство  $\beta$  его подмножеств.

**Теорема 3.** Пусть семейство  $\beta$  подмножеств множества  $X$  удовлетворяет условиям (B1) – (B2). Пусть

$$\tau_\beta = \{\cup \beta': \beta' \subset \beta\}.$$

Тогда семейство  $\tau_\beta$  удовлетворяет аксиомам (T1) – (T3). Семейство  $\beta$  является базой топологического пространства  $(X, \tau_\beta)$ .

Топология  $\tau_\beta$  называется *топологией, порождённой базой  $\beta$* .

**Пример 4.** Рассмотрим  $\mathbb{R} = (-\infty, +\infty)$  – множество всех действительных чисел.

Согласно теореме 3, оказывается достаточно проверить задания *a*), т. е. для семейств  $\beta_\varepsilon$ ,  $\beta_\rightarrow$  и  $\beta_\alpha$  достаточно установить выполнения свойства (B1) – (B2) [3]. Тогда выполнение заданий *b*) вытекают из теоремы 3 [3].

Пример 4 показывает, насколько важна теорема 3.

**Введение топологии системой окрестностей.** Мы знаем, что семейство множеств, состоящее из объединения локальных баз  $v_x$  точек  $x \in X$ , т. е.

$$v = \bigcup_{x \in X} v_x = \left\{ \bigcup_{x, \alpha} : \alpha \in A_x, x \in X \right\}$$

называется системой окрестностей пространства  $(X, \tau)$ . Всякая система окрестностей обладает следующими свойствами:

(NS1) для любой точки  $x \in X$  множество  $v_x$  не пусто и для каждого  $V_{x, \alpha} \in v_x$  имеем  $x \in V_{x, \alpha}$ ;

(NS2) если  $x \in V_{y, \alpha} \in v_y$ , то найдётся  $V_{x, \beta} \in v_x$ , что  $V_{x, \beta} \subset V_{y, \alpha}$ .

(NS3) для каждой пары  $V_{x, \alpha}, V_{x, \beta} \in v_x$  найдётся такое  $V_{x, \gamma} \in v_x$ , что  $V_{x, \gamma} \subset V_{x, \alpha} \cap V_{x, \beta}$ ;

**Теорема 4.** Пусть даны множество  $X$  и совокупность

$$v = \left\{ \bigcup_{x, \alpha} : \alpha \in A_x, x \in X \right\}$$

его подмножеств, обладающая свойствами (NS1) – (NS3). Пусть

$$\tau_v = \{ \cup v' : v' \subset v \}.$$

Тогда семейство  $\tau_v$  удовлетворяет условиям (T1) – (T3). Семейство  $v$  является системой окрестностей топологического пространства  $(X, \tau)$ .

Топология  $\tau_v$  называется *топологией, порожденной системой окрестностей  $v$* .

**Пример 5.** Рассмотрим замкнутую верхнюю полуплоскость  $L = \{(x, y): y \geq 0\}$  и прямую  $L_1 = \{(x, y): y = 0\}$ . Положим  $L_2 = L \setminus L_1$ . Для каждого  $(\xi, 0) \in L_1$  и  $r > 0$  пусть

$$U((\xi, 0), r) = \{(x, y): (x - \xi)^2 + (y - r)^2 < r^2\}$$

Пусть, далее

$$U_i(\xi, 0) = U\left(\left(\xi, 0\right), \frac{1}{i}\right) \cup \{(\xi, 0)\}, i = 1, 2, \dots$$

Для каждого  $(\xi, \zeta) \in L_2$  и  $r > 0$  пусть

$$U((\xi, \zeta), r) = \{(x, y): (x - \xi)^2 + (y - \zeta)^2 < r^2, \zeta \geq 0\},$$

$$U_i(\xi, \zeta) = U\left(\left(\xi, \zeta\right), \frac{1}{i}\right), i = 1, 2, \dots$$

**Задания.** а) Установить, что совокупность

$$v = \{U_i(\xi, \zeta): (\xi, \zeta) \in L, i \in \mathbb{N}\}$$

обладает свойствами (NS1) – (NS3).

б) Доказать, что множество  $L_1$  замкнуто в топологическом пространстве  $(L, \tau_v)$ .

Топологическое пространство  $(L, \tau_v)$  называется *плоскостью Немыцкого*.

## REFERENCES

1. Зайтов А.А. Геометрия. Методы введения топологии. Электронная платформа Чирчикского государственного института. 2020, 6 стр.
2. Атамурадова Д.Р. Рекомендации по самостоятельному изучению темы «Топологические пространства. Открытые и замкнутые множества». //Научный вестник Ташкентского государственного педагогического университета. 2020, № 12, стр. 271-274.
3. Атамурадова Д.Р., Мадреймова А.Н. База топологического пространства. //Илм сарчашмалари. 2021 йил №9, стр.22-24.
4. Jo`rayev T.F. Topologiyaga kirish. – Toshkent, “Tafakkur-Bo’stoni”, 2012. – 240 b.
5. Бурбаки Н. Общая топология. Основные структуры. – М., 1958. – 324 с.
6. Narmanov A.Ya., Sharipov A.S., Arslonov J.O. Differensial geometriya va topologiya kursidan masalalar to`plami.-Toshkent “Unversitet” 2014.-11-15c