




AM9800008

Препринт ЕФИ-1393(4)-93

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



В.Ш. АВАГЯН , А.З. БАБАЯН , Г.К. ХАРЧЕНКО

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ
МЕДНЫХ ДИАФРАГМИРОВАННЫХ ВОЛНОВОДОВ

2

29 - 42

**We regret that
some of the pages
in this report may
not be up to the
proper legibility
standards, even
though the best
possible copy was
used for scanning**

ՎՆԱՎՈՒԿՅԱՆ, ԱԶԻՄԱՅԱՆ, ԳԳՆԱՐՉԵՆՆԻՔ

**ՊՐԱՉՅԱԿԻ ԳԻԱՅԻՆԱԳՄԱՅԻ ԱՆԻՔԱՏԱՐՆԵՐԻ ԳԻՖՈՒԶԻՈՆ ԵՌԱԿՑՄԱՆ
ՍԱՐՁԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՏԵԽՆԱԼՈԳԻԱՆ**

Աշխատանքում արված է դիաֆրագմային ալիքատարների միակցման ստրադեգիան կառուցվածքը, որում սնվահովիում է նուակցումային ճնշման հուսառոտությունը ալիքատարի ամբողջ երկարությամբ:

Բերված են տասնյակ միջանկյալ կյուբի (արծաթի) օգտագործման պղնձի միակցման արդյունքները:

Երևանի Ֆիզիկայի Ինստիտուտ

Երևան-1993

* ԵՕՊատոնի անվան էլեկտրոնեակցման
ինստիտուտ: ք. Գրե

1. Введение.

Достижение высокой точности, с которой должен быть изготовлен медный диафрагмированный волновод – сложная технологическая задача. Наиболее распространенная технология – это производство паяных волноводов. Конструкцию волновода набирают из отдельных точно изготовленных медных элементов, имеющих вид короткого стакана (чашки) с отверстием в центре дна. После тщательной центровки элементов их припаивают током высокой частоты в вакууме, в качестве припоя используют серебро [1].

Для обеспечения требуемых электрических параметров и вакуумной герметичности, предварительно в местах соединения медных чашек наносится гальваническим способом слой серебра толщиной $\delta = 9 - 12$ мкм. Кроме того, снаружи в местах стыков накручивается серебряный припой (марки ПСр-72 или ПСр-50).

Недостатками существующего оборудования и технологии изготовления диафрагмированных волноводов являются: трудность обеспечения постоянства установочного давления между свариваемыми элементами по всей длине [2,3], что приводит к неравномерной деформации; вытекание серебра в рабочую область или образование пустот в зонах соединения, приводящие в обоих случаях к уменьшению подводимой СВЧ мощности и тем самым к уменьшению градиента или темпа ускорения; большой расход серебра вследствие предварительного гальванопокрытия элементов и последующего дополнительного использования серебряного припоя.

2. Оборудование для соединения диафрагмированных волноводов.

На рис.1 схематически представлена установка для соединения диафрагмированных волноводов, в которой обеспечивается постоянство сварочного давления по всей длине секции.

Установка работает следующим образом:

Соединяемый диафрагмированный волновод 3 устанавливается на опорной плите 2, устанавливается шайба 10, ввинчивается шпилька 9 в прижимный элемент 8 и затягивается гайкой 11, при этом устанавливается необходимый зазор между электромагнитом 7 и прижимным элементом 8.

Устанавливается кварцевый колпак 1 и производится откачка вакуумной камеры (на рис.2 схематически представлена вакуумная система установки). Предварительный вакуум получают форвакуумным насосом типа 2НВР-5ДМ, откачивая через азотную ловушку; высокий вакуум - турбомолекулярным насосом типа ТМН-500 [4].

Систем надевается на колпак 1 индуктор 4, жестко закрепляется к нему ползунок 5 и устанавливается в верхнее крайнее положение, при котором осевая плоскость индуктора совмещается с плоскостью стыка верхней чашки диафрагмированного волновода. Посредством электромагнита 7 и прижимного элемента 8 устанавливается сварочное давление, соответствующее положению индуктора и ползунка потенциометра в верхнем крайнем положении. После достижения необходимого вакуума в камере, диафрагмированный волновод нагревается ВЧ-током и производится соединение двух чашек, расположенных на уровне горизонтальной оси индуктора.

При опускании индуктора до уровня следующего стыка напряжение на выходе потенциометра изменяется по закону:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{п}} \frac{x}{l}$$

где координата ползунка изменяется от $x=1$ до $x=0$,

l - длина токопроводящей части потенциометра,

$U_{\text{п}}$ - напряжение на выходе регулируемого источника напряжения,

что приводит к изменению тока электромагнита на величину, при которой компенсируется дополнительное давление, обусловленное весом диафрагмированного волновода, расположенного выше свариваемого стыка.

Наличие регулируемости источника напряжения обеспечивает установку требуемого U_{II} , при котором компенсируется дополнительное давление при разных величинах всех соединяемых чашек на единицу длины.

Таким образом, обеспечивается постоянство установочного давления при сварке всех стыков диафрагмированного волновода по всей его длине.

3. Некоторые результаты исследования технологии диффузионного соединения меди.

Одновременно с исследованием сварки диафрагмированных волноводов с использованием серебряной прокладки в местах соединения медных чашек, были выполнены исследования диффузионной сварки меди с медью без промежуточного материала (серебра).

Диффузионное соединение меди в вакууме или в среде инертного газа не вызывает особых затруднений. Равнопрочность соединения меди к основному материалу достигается при диффузионном соединении по режиму:

$$T = 1123\text{K}, \quad P = 7\text{МПа}, \quad \tau = 20\text{мин} \quad [5,6].$$

Однако, проблема полного сохранения исходных размеров деталей остается не решенной [7].

Изучали влияние подготовки поверхности и параметров режима на механические свойства сварных соединений с целью выбора оптимальных условий, обеспечивающих получение соединений с минимальной остаточной пластической деформацией. Исследования проводились на образцах из меди М1.

Параметры процесса изменяли в следующих пределах:

удельное давление P , МПа	7 - 8;
температура-нагрева T , К	973 - 1173;
время выдержки τ , мин	5 - 20.

Стыкуемые поверхности подвергали чистой механической обработке алмазными резцами.

При исследовании использовали электронно-лучевой, радиационный и индукционный нагрев. Экспериментальные исследования проводили при статической и вибрационной нагрузке.

Известно, что по общепринятой технологии способом диффузионной сварки можно получить доброкачественное сварное соединение, которое обладает высокими механическими свойствами. Одним из основных недостатков общепринятой схемы ДСВ является большая длительность процесса сварки, которая может быть от нескольких минут до нескольких часов в зависимости от режимов, подготовки поверхности и размеров изделия. Нами были проведены исследования по интенсификации процесса, направленные на изыскание технологических методов и приемов, позволяющих значительно снизить время сварки в твердой фазе с подогревом.

Проведенные исследования позволили наметить пути интенсификации процесса в твердой фазе. Наиболее ощутимый эффект был получен при изменении способа передачи нагрузки на свариваемые образцы. Вибрационная нагрузка с частотой от нескольких герц до УЗ диапазона, накладываемая на статическую нагрузку, позволяет снизить время сварки в 20-30 раз, по сравнению с обычной схемой ДСВ. Величина вибрационной нагрузки выбирается в зависимости от режимов сварки и класса свариваемых материалов, размеров образцов и подготовки стыкуемых поверхностей. В качестве примера укажем сравнительные режимы сварки образцов меди диаметром 18 мм с электронно-лучевым нагревом. Следует отметить, что полученные на этих режимах соединения при механических испытаниях разрушаются по основному металлу.

T = 1123 K	}	статическая нагрузка
P = 5 МПа		
τ = 15 мин		
T = 1123 K	}	статическая и вибрационная (до 50% от статической) нагрузка
P = 5 МПа		
τ = 40-50 сек		

Таким образом, применение вибрационной нагрузки при сварке давлением позволяет значительно интенсифицировать процесс, т.е.

обеспечивает ощутимое снижение времени процесса по сравнению с обычным способом сварки. Однако при вибрационной нагрузке существенно возрастает степень пластической деформации по сравнению со статическими условиями нагружения. При каждом новом нагружении наблюдается период активной деформации, что связано с развитием процессов возврата при промежуточном снятии нагрузки. С повышением температуры процесса более активно протекают процессы возврата, что повышает эффективность обсуждаемого технологического процесса. Однако приведенные выше технологические приемы очень сложно выполнить на реальном изделии, состоящем из нескольких десятков элементов и имеющем значительную длину. Поэтому в дальнейшем отработка технологии проводилась в условиях статического нагружения. Анализ влияния температуры сварки на σ_B и ϵ (Рис. 3) показывает, что более интенсивный рост остаточной пластической деформации (ϵ) наступает при $T \geq 1073$ К, а прочность соединения при этой температуре уже находится на уровне основного металла.

График зависимости σ_B и ϵ соединения от величины удельного давления приведены на Рис. 4. Как видно из графика, рост давления повышает прочность соединения, однако резко увеличивает остаточную деформацию, наиболее интенсивный рост наблюдается начиная с $P=4$ МПа. Зависимость σ_B и ϵ соединения от времени сварки показывает, что можно рекомендовать время от 10 до 20 мин. для отработки технологии сварки реального изделия (Рис. 5).

На Рис. 6 приведена зависимость прочности и величины остаточной деформации от чистоты обработки поверхности. Из графика видно, что с повышением чистоты обработки прочность соединения возрастает незначительно, а остаточная деформация интенсивно уменьшается. Это свидетельствует о том, что при прочих равных условиях площадь фактического контакта более гладких поверхностей нарастает гораздо быстрее, чем шероховатых. Отсюда можно сделать вывод, что определяющим условием получения прецизионного соединения при диффузионной сварке медных образцов является чистота поверхности.

Анализируя полученные экспериментальные результаты можно заключить, что для получения сварных соединений образцов меди с остаточной пластической деформацией не более 0.1% и обладающих при этом прочностью на уровне основного металла необходимо обрабатывать стыкуемые поверхности до $R_a = 0.025$ мкм и сваривать на режимах:

$$T = 1023 - 1073 \text{ К}; P = 2 \text{ МПа}; \tau = 15 - 20 \text{ мин.}$$

Для оптимизации параметров режима сварки были применены современные [8] математико-статистические методы обработки данных и получены уравнения регрессии, в которых независимыми параметрами являлись:

- X_1 - температура сварки, T (К);
- X_2 - давление на сварных образцах, P (МПа);
- X_3 - время сварки τ (мин);
- X_4 - чистота обработки поверхности, R_a (мкм).

Качество соединений оценивалось показателями:

- Y_1 - предел прочности, МПа (σ_B) сварного соединения;
- Y_2 - относительная деформация, % (ϵ).

В результате получены регрессионные модели:

$$\begin{aligned} \sigma_B &= 526 - 0.36T - 33.02\tau + 0.029 T\tau + 1.23P\tau - 1.8P^2 - 257R_a^2; \\ \epsilon &= 3.05 - 0.0025T - 0.35P - 0.135\tau - 2.27R_a + 0.00032TP + \\ &\quad + 0.00012T\tau + 0.43PR_a + 0.064 \tau R_a + 0.014P^2 \end{aligned}$$

Следует отметить, что при отработке технологии сварки реальных узлов диафрагмы внесли коррективы в режим сварки; здесь учитывался масштабный фактор. Исследование диффузионной сварки на диафрагме показали, что для получения достаточной прочности соединения и минимальной остаточной деформации (заданной техническими требованиями для длиномерных волноводов) необходимо, чтобы давление и температура сварки распределялись равномерно по высоте волновода, при этом остаточная деформация $\epsilon = 0.03\%$, прочность соединения $\sigma_B = 180$ МПа.

Выводы:

1. Определены условия получения сварного соединения с минимальной остаточной деформацией в зависимости от параметров процесса и чистоты обработки поверхностей.
2. Установлено, что основным параметром режима является температура нагрева деталей, так как этот параметр в первую очередь влияет на уровень остаточной деформации меди.
3. Расчетно-экспериментальным путем определены параметры процесса, которые обеспечивают соединение меди с минимальной остаточной деформацией.

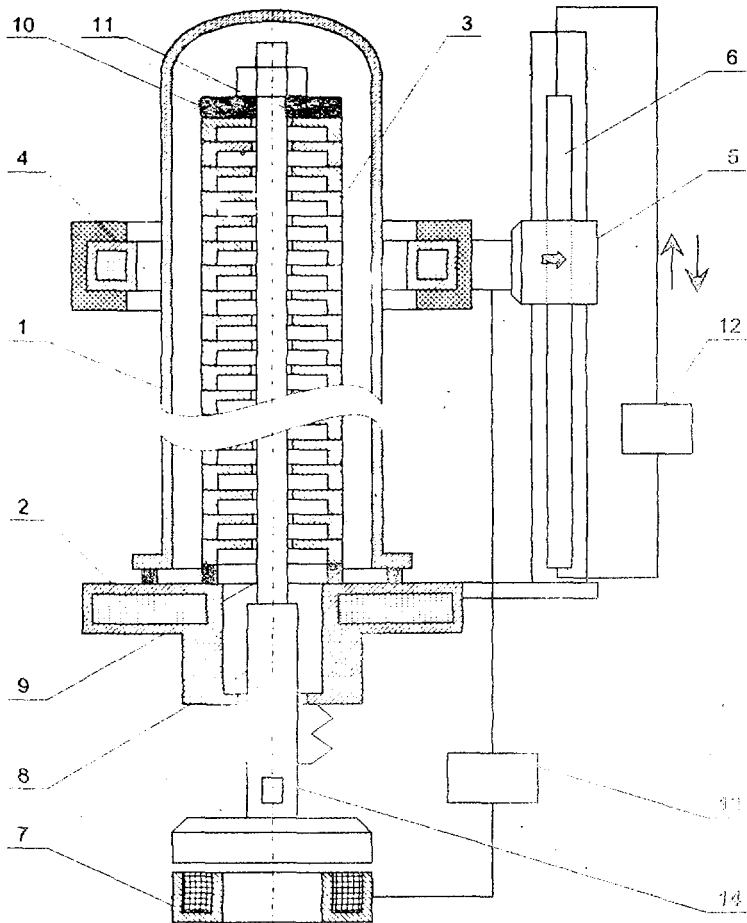


Рис 1. Схема установки диффузионной сварки.

- 1 - вакуумная камера; 2 - опорная плита;
- 3 - диафрагмированный волновод; 4 - индуктор;
- 5 - ползунок; 6 - потенциометр; 7 - электромагнит;
- 8 - прижимной элемент; 9 - шпилька; 10 - шайба;
- 11 - гайка; 12 - регулируемый источник напряжения;
- 13 - источник питания электромагнита;
- 14 - датчик давления.

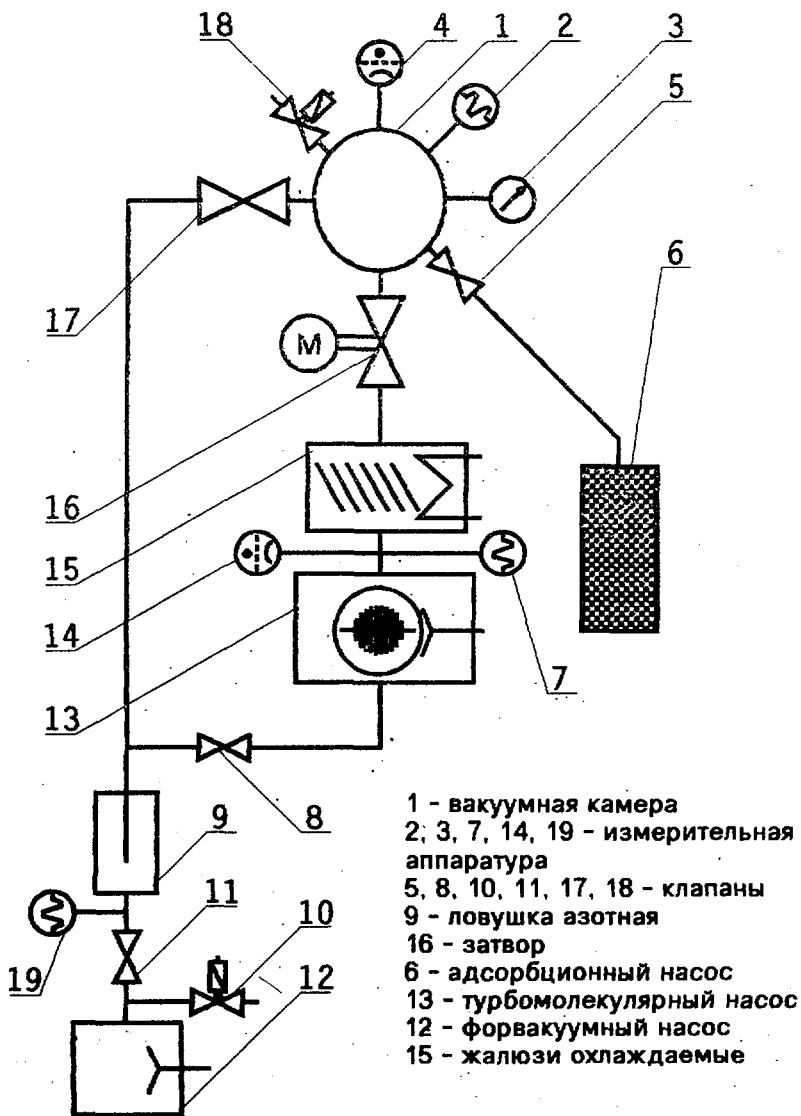


Рис. 2 Схема вакуумной системы установки

Зависимость σ_B и ϵ соединения меди от температуры.

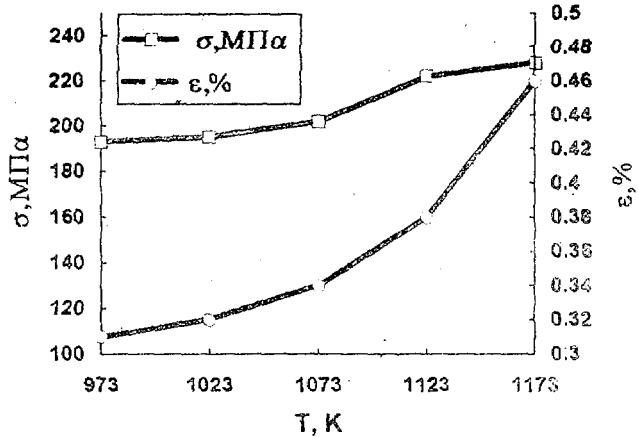


Рис. 3. $P = 4 \text{ МПа}$, $\tau = 20 \text{ мин}$, $R_a = 0.025 \text{ мкм}$.

Зависимость σ_B и ϵ соединения меди от давления сжатия.

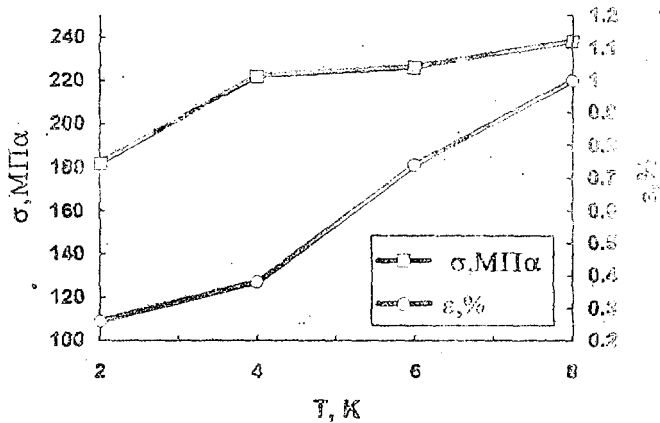


Рис. 4. $T = 1123 \text{ К}$, $\tau = 20 \text{ мин}$, $R_a = 0.025 \text{ мкм}$.

Зависимость σ_B и ϵ соединения меди от времени сварки.

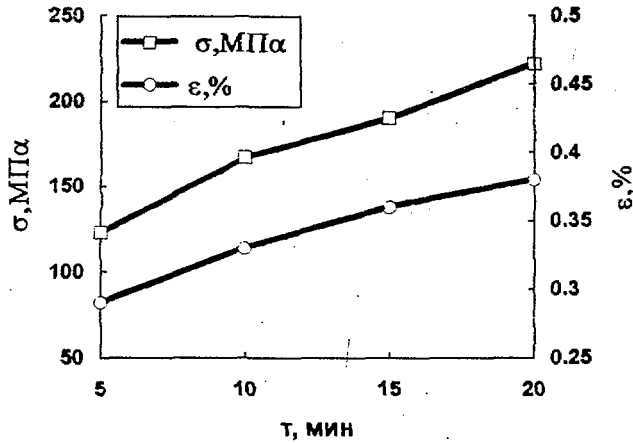


Рис. 5. $T = 1123K$, $P = 4$ МПа, $R_a = 0.025$ мкм.

Зависимость σ_B и ϵ соединения меди от чистоты обработки поверхности.

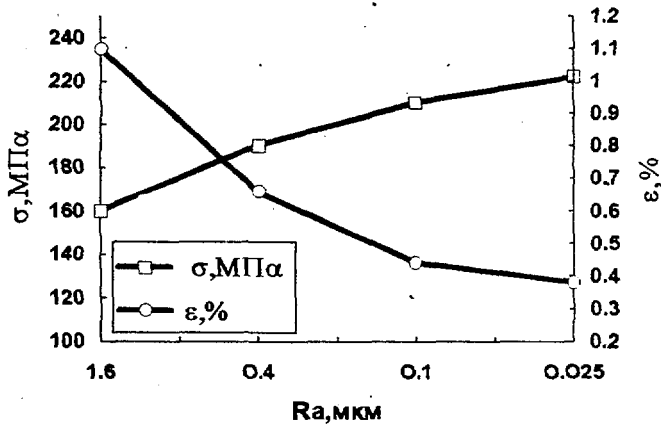


Рис. 6. $T = 1173K$, $P = 4$ МПа, $\tau = 20$ мин.

Список литературы

1. Быстров Ю.А., Иванов С.А., Ускорительная техника и рентгеновские приборы. - М.: Высшая школа, 1983, с.288.
2. Заявка СССР 480103/08(091393) Устройство для диффузионной сварки. Авагян В.Ш., Бабаян А.З. Решение о выдаче авторского свидетельства от 18.04.91.
3. Заявка СССР 5014707/08(059160) Устройство для сварки давлением. Авагян В.Ш., Тунян И.В., Харченко Г.К. Решение о выдаче авторского свидетельства от 28.07.92.
4. Авагян В.Ш., Антонов В.П., Установка диффузионной сварки в вакууме. - Тезисы докладов XIII Всесоюзной научно-технической конференции - Достижения и перспективы развития диффузионной сварки. - М.:МНДТП им. Ф.Э. Дзержинского.
5. Худышев А.В., Каракозов Э.С., Элбакидзе В.Г., Диффузионная сварка деталей и узлов СВЧ приборов, Вопросы радиоэлектроники, 1963, сер 1, вып.7, с 78-95.
6. Афанасьев И.В., Худешев А.Ф., Исследование диффузионной сварки применительно к электровакуумным приборам. Автомат. сварка. 1962, 5, с.57-63.
7. Авагян В.Ш. Соединение меди в твердой фазе (обзор). Препринт ЕФИ, 1380(10)-92, Ереван, 1992.
8. Шуп.Т., Решение инженерных задач на ЭВМ., М.: Мир, 1980, с.230.

Рукопись поступила 15 марта 1993г.

The address for requests:
Information Department
Yerevan Physics Institute
Alikhanian Brothers 2,
Yerevan, 375036
Armenia,

В.Ш. АВАГЯН, А.Э. БАБАЯН, Г.К. ХАРЧЕНКО
ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ
МЕДНЫХ ДИАФРАГМИРОВАННЫХ ВОЛНОВОДОВ

Редактор А.С. Есин

Технический редактор А.С. Абрамян

Подписано в печать 20/У-93

Формат 60x84/16

Офсетная печать. Уч.изд.л.:0,5

Тираж 100 экз.

Зак. тип. N 143

Индекс 3649

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван-36, ул. Братьев Аликханян, 2.

ИНДЕКС 3649



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ