



Терещук Валерий Сергеевич  
с.н.с. ИМАШ РАН, к.т.н.

**Презентация книги «Применение энергетически  
активных металлов и водорода»  
(Многоликий водород)**

# Энергетическая активность металлов

Реакция металла с водой при стехиометрии	Тепло реакции, кДж/кг	Тепло реакции, кДж/литр
$2\text{Li} + \text{H}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2$	28900	15433
$2\text{Na} + \text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2$	6120	5967
$2\text{K} + \text{H}_2\text{O} = \text{K}_2\text{O} + \text{H}_2$	3570	3106
$2\text{Mg} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{MgO} + 2\text{H}_2$	14820	26083
$2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2$	15060	40662

Если учесть еще сгорание полученного водорода, а это 33600 кДж, то с 1л Al можно получить в 2,44 раза больше тепла, чем с одного литра бензина

## Анализ модельных испытаний при использовании чистых металлов для газогенераторов водорода

Первые же испытания газогенераторов на гидрореагирующем твердом топливе (ГРТТ), где горючим были чистые щелочные металлы в виде шашки твердого топлива торцевого горения, или они в жидком виде впрыскивались в камеру через форсунки, а окислителем - обычная водопроводная вода, которая подавалась в камеру через струйные или центробежные форсунки по потоку, против потока (на торец заряда) или радиально, выявили не совсем устойчивую работу таких газогенераторов

В работе А.И. Максименко] применялся заряд торцевого горения при начальной температуре 200С, состоящий из Li, поверх которого располагался слой Na толщиной 4мм. Сначала воспламенялся натрий и после его сгорания - литий. Двигатель в этом случае располагался соплом вверх, чтобы расплавленный металл сохранял, вследствие гравитации, плоскую горизонтальную поверхность, горящим слоем обращенную вверх. Вода направлялась на горящий торец, натрий при этом расплавлялся и в его массе устанавливалась практически постоянная температура 250-300о С. Если учесть, что для Na температура плавления  $T_{пл} = 980С$ , то для такого топлива толщина прогретого слоя для Na составляет несколько см. По расчетной оценке автора этих экспериментов А.И.Максименко, толщина расплавленного слоя Li составила 2,4 см, что на порядок выше прогретого слоя обычных порохов. Когда вода из форсунок попадает на торец, то естественно на горящем торце создается резко неравномерное поле распределения окислителя, который для такого топлива является не только активатором горения, но и охладителем, если он локально подается в избытке, т.к. любая форсунка дает гауссовское распределение капель на орошаемой поверхности по их количеству и диаметру. Вследствие этого возникает неравномерное поле скорости горения по поверхности заряда, что ведет к неустойчивому горению, что и фиксировалось в экспериментах А.И. Максименко.

## Анализ модельных испытаний

. При увеличенной подаче воды на горящий торец, когда происходило резкое увеличение давления в камере сгорания в пульсирующем режиме, и из-за увеличивающейся неравномерности скорости горения по поверхности торца горение происходило уже во всем объеме прогретого слоя, что приводило к взрывам двигателя.

При вертикальном же расположении горящего торца и у Гречнева В.И. [15] и у Максименко А.И. горение подобных зарядов также было крайне неустойчивым – с сильными колебаниями и отсутствием устойчивого «полочного» режима.

Проанализируем теоретически устойчивость горения для нескольких активных металлов. Прежде всего неустойчивость горения возникает вследствие стекания расплавленного слоя с горящего торца заряда. Оценим расчетным путем условную сравнительную толщину расплавленного слоя для 4-х металлов: Na, Li, Mg и Al по уравнению Михельсона-Герца:

$$X = \frac{\Omega}{U_0} \ln \frac{T_k - T_0}{T_L - T_0} ; \quad v = \frac{\gamma \cdot X^2 g}{3\eta}$$

Последняя формула из книги Эккерта и Дрейка «Теория тепло и массообмена» в переводе и под редакцией академика А.В. Лыкова

Скорость стекания жидкого металла с горящего торца заряда

	металл	Na	Li	Mg	Al
$T_L$ ,	$^{\circ}\text{C}$	97	179	651`	660
$T_s$ ,	$^{\circ}\text{C}$	878	1317	1110	2450
$\Omega$	см <sup>2</sup> /сек	0,625	0,222	0,596	0,536
$X$ ,	см	1,5	0,466	0,326	0,715
$V$ ,	см/сек	1106	300	54,7	292

самая низкая скорость стекания у магния, что и подтверждается экспериментами на магниевых составах, на которых в сотнях экспериментов не наблюдалось ни одного взрыва. У натрия самая высокая скорость стекания (почти в 20 раз больше, чем у магния) и самый толстый прогретый слой (1,5см), поэтому газогенераторы торцевого горения на натрии больше всего подвержены взрывам, что и наблюдалось в экспериментах. Литий и Al занимают промежуточное положение по скорости стекания (всего в 5-6 раз больше, чем у Mg, поэтому изредка на практике случаются взрывы.

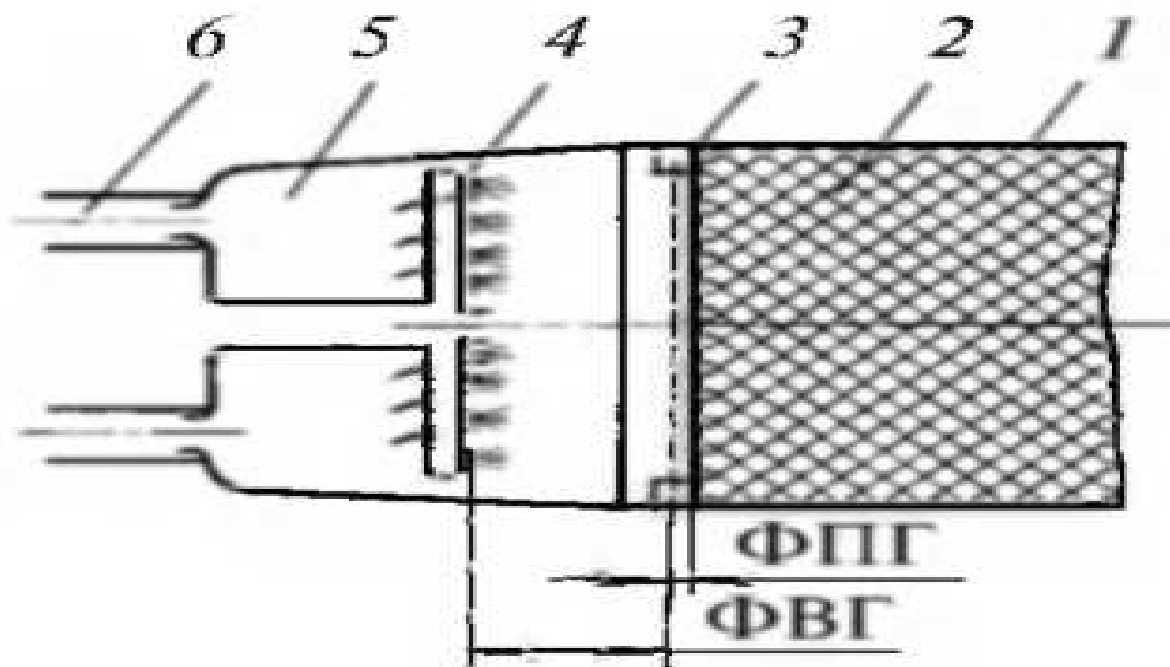
## Анализ модельных испытаний

Как известно, взрывы в любом газогенераторе происходят от незапланированного увеличенного расхода горючего и окислителя. В жидкостных ракетных двигателях (ЖРД) подача горючего и окислителя осуществляется через форсунки, и в этом случае такой двигатель легко поддается регулированию через регулируемую подачу компонентов ракетного топлива. Вот почему такие исследователи как И.М. Капура и В.И. Серебрянников проводили свои эксперименты на готовых расплавах Na и K, впрыскивая их в камеру сгорания через форсуночные устройства. Но невысокие энергетические характеристики этих металлов и сложность создания на борту водного объекта расплава этих металлов не привела к практической реализации этих металлов в конкретном автономном изделии.

## Газогенератор водорода на металлизированном топливе

(под таким заголовком была напечатана статья в журнале «Вестник машиностроения, 2011, №12. С. 54-62)

- Это фактически смесевое топливо, у которого кроме металла в составе собственный окислитель и небольшое количество органической связки и которое может гореть самостоятельно, образуя фронт первичного горения
- ФПГ – фронт первичного горения и при подачи воды на горящий торец образует
- ФВГ – фронт вторичного горения



**Рис. 1. Схема газогенератора:**

1 — корпус; 2 — топливо; 3 — опорные элементы; 4 — блок форсунок; 5 — камера сгорания; 6 — газоходы;

## Отношение аэродинамической силы к гравитационной для частиц Me разного размера при различных давлениях в камере сгорания

Диаметр частицы, мкм	2 мпа	4 мпа	7 мпа
100	1,64	0,9	0,54
50	6,6	3,6	2,17
15	73,1	40	24,1

$$A = \frac{F_{\text{аэр}}}{F_{\text{грав}}} = \frac{C_x \gamma_{\Gamma} V_{\Gamma} / 2 \pi / 4 d_K^2}{g \pi / 6 \gamma_K d_K^3} = \frac{18 \mu u_1 Z R T}{d_K^2 P^{1-\nu}}$$

. Пример нормального горения металлизированного топлива с водой

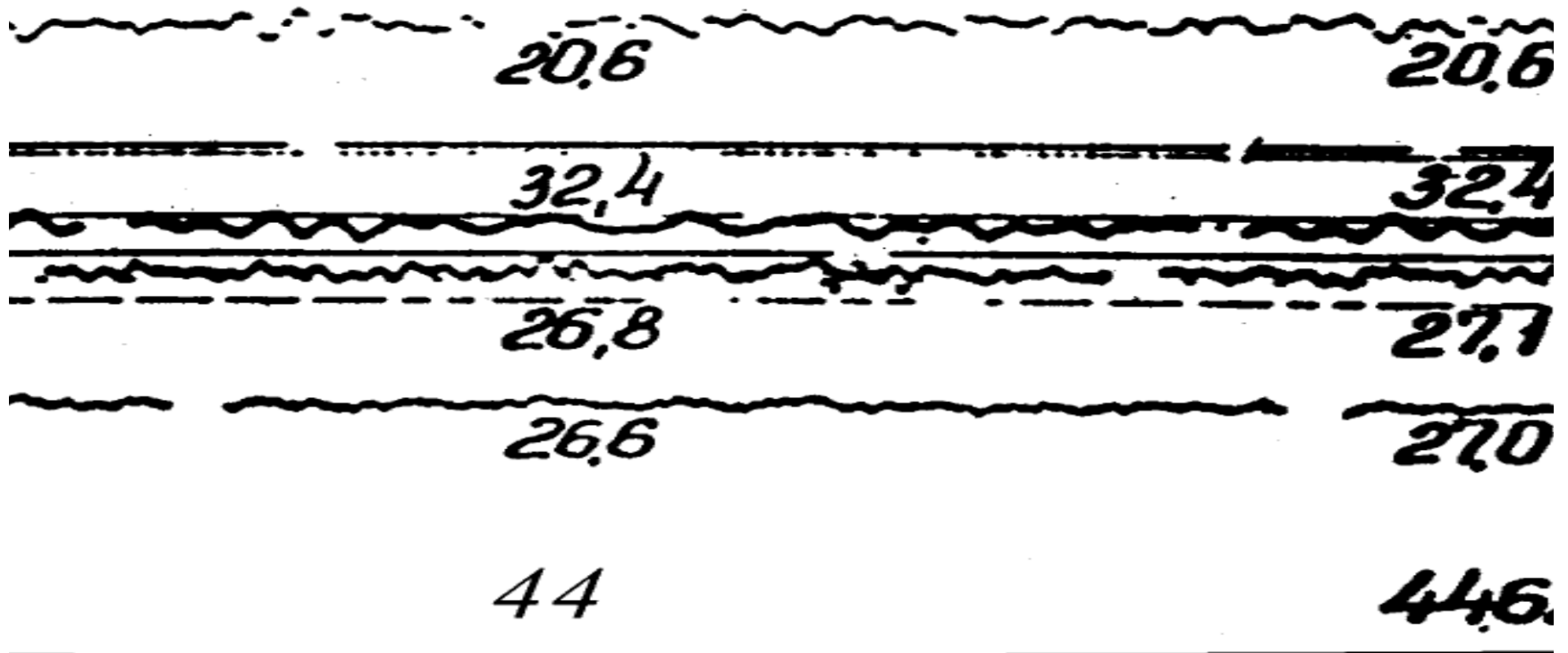


Рис. 1 Пример нормального горения ЭАВ с во

$P_{K2}$   $P_{\text{ф}}$



Система уравнений движения частицы металла с учетом аэродинамического сопротивления и изменения массы частицы при ее выгорании

- $C_x = C_y = 24/Re + 4,4/\sqrt{Re} + 0,42$  при  $1 < Re < 200$ .

$$m \frac{dV_x}{d\tau} + V_x \frac{dm}{d\tau} = C_x F_k \rho_k \frac{(V_g - V_x)^2}{2}$$

$$m \frac{dV_y}{d\tau} + V_y \frac{dm}{d\tau} = -C_y \frac{\rho_k V_y^2}{2} F_k + mg$$

## Определение веса шлака в камере сгорания по ее длине

$$\Omega_{\text{шл}} = G_{\text{ГРТТ}} \cdot \partial_{A1} \cdot \gamma_{\text{ок}} / (\partial_{\text{ок}} \cdot \gamma_{A1}) \int \zeta(L) \cdot dL,$$

где  $G_{\text{ГРТТ}}$  - начальный вес ГРТТ,

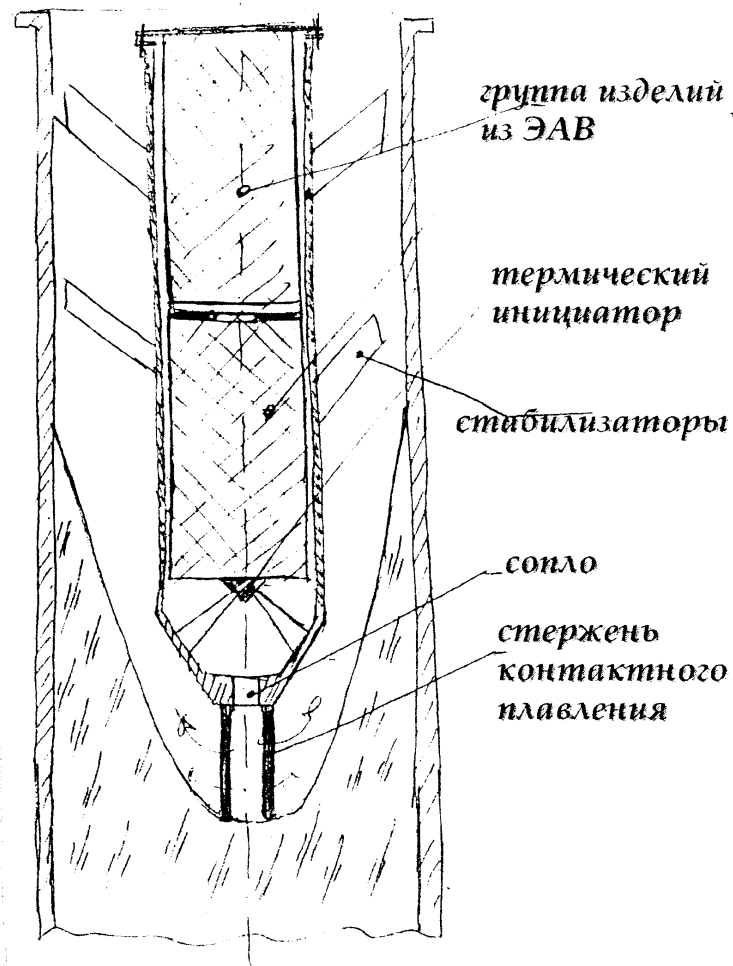
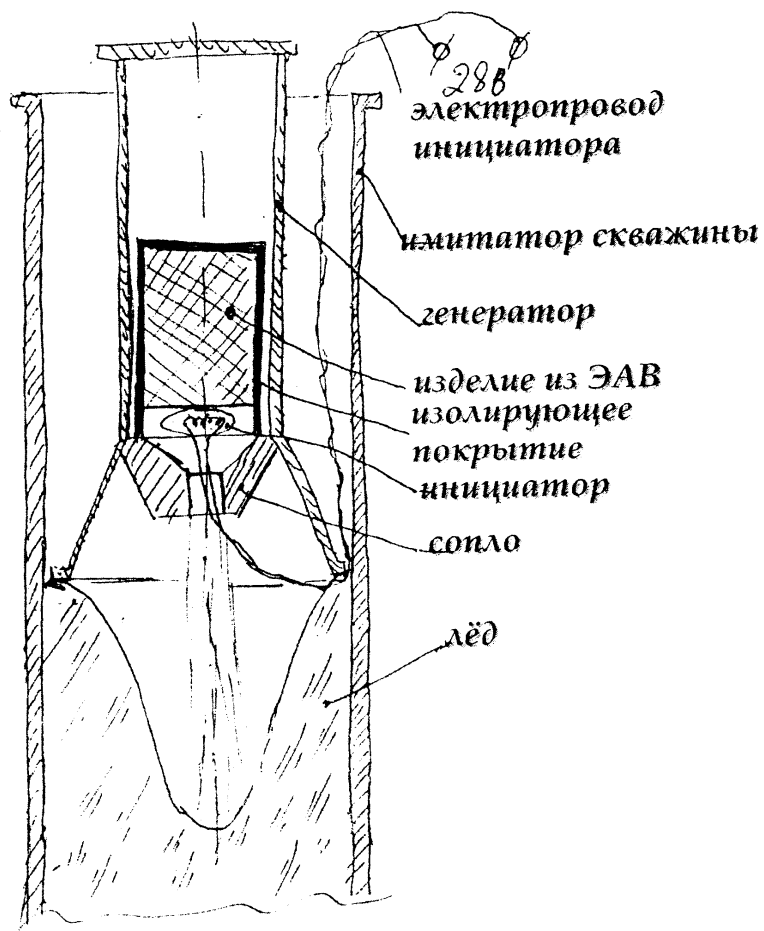
$\partial_{A1}$  и  $\gamma_{A1}$  - весовая доля A1 в ГРТТ и его удельный вес,

$\partial_{\text{ок}}$  и  $\gamma_{\text{ок}}$  - весовая доля окисла A1 и его удельный вес.

Так как  $\zeta(L) = f(\varphi_p)$ , а  $\varphi_p$  - согласно рис.10 можно представить в виде параболы, то и  $\zeta(L) = a \cdot L_{01}^2 + b \cdot L_{01} + c$  и найти соответствующие коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$ .

После интегрирования и подстановки всех известных величин получено для центробежного распыла  $\omega_{\text{шл}} = 23,9$  кг, а для струйного распыла - 10,2 кг. Что близко к опытным данным.

# Применение металлизированного топлива для плавления льда



## Испытания с прижатием к опорам

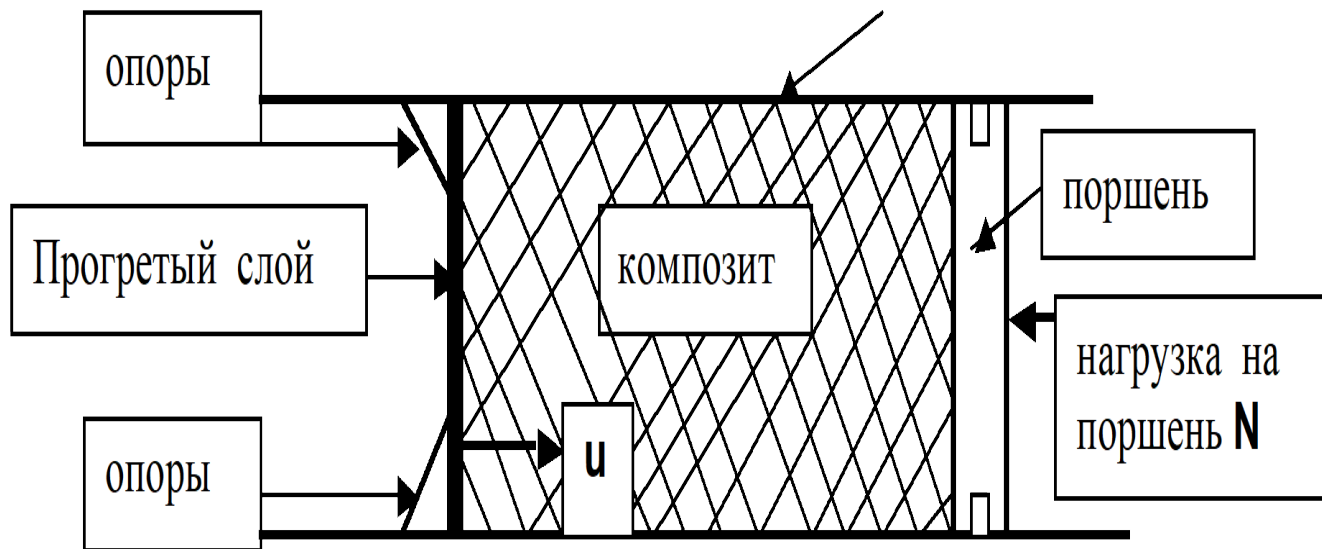


Рис.1. Схема установки для проведения эксперимента

## Пример регулирования газогенератора водорода

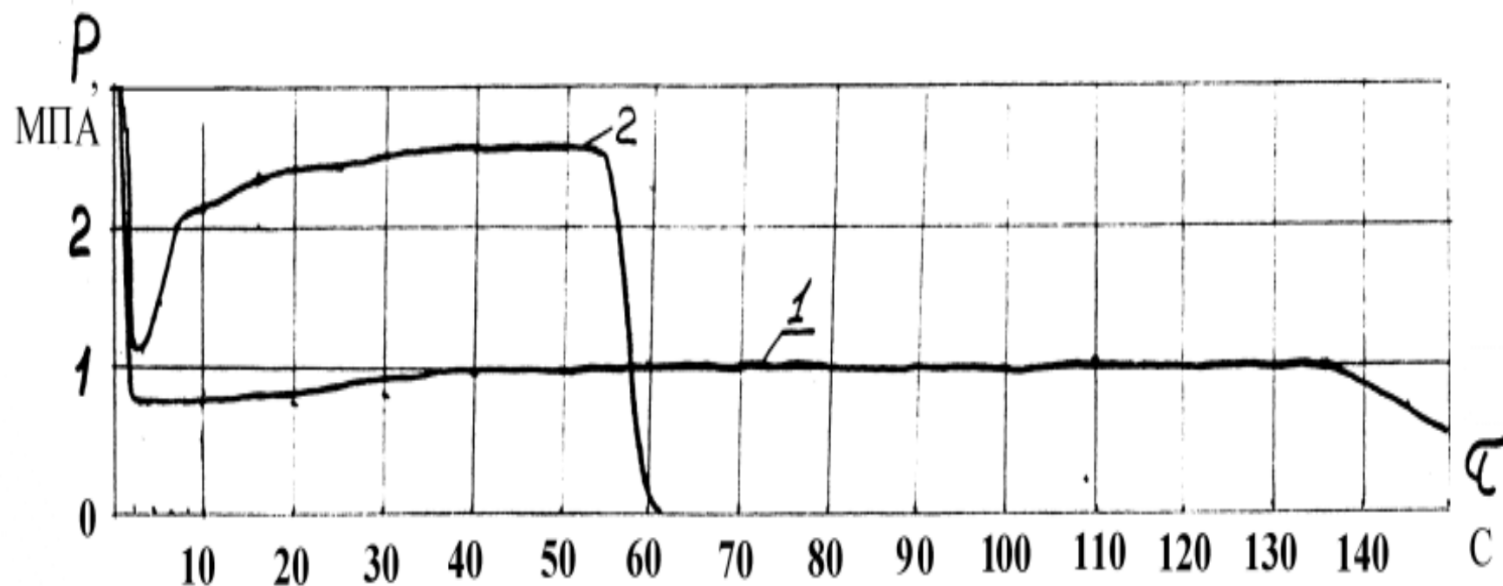
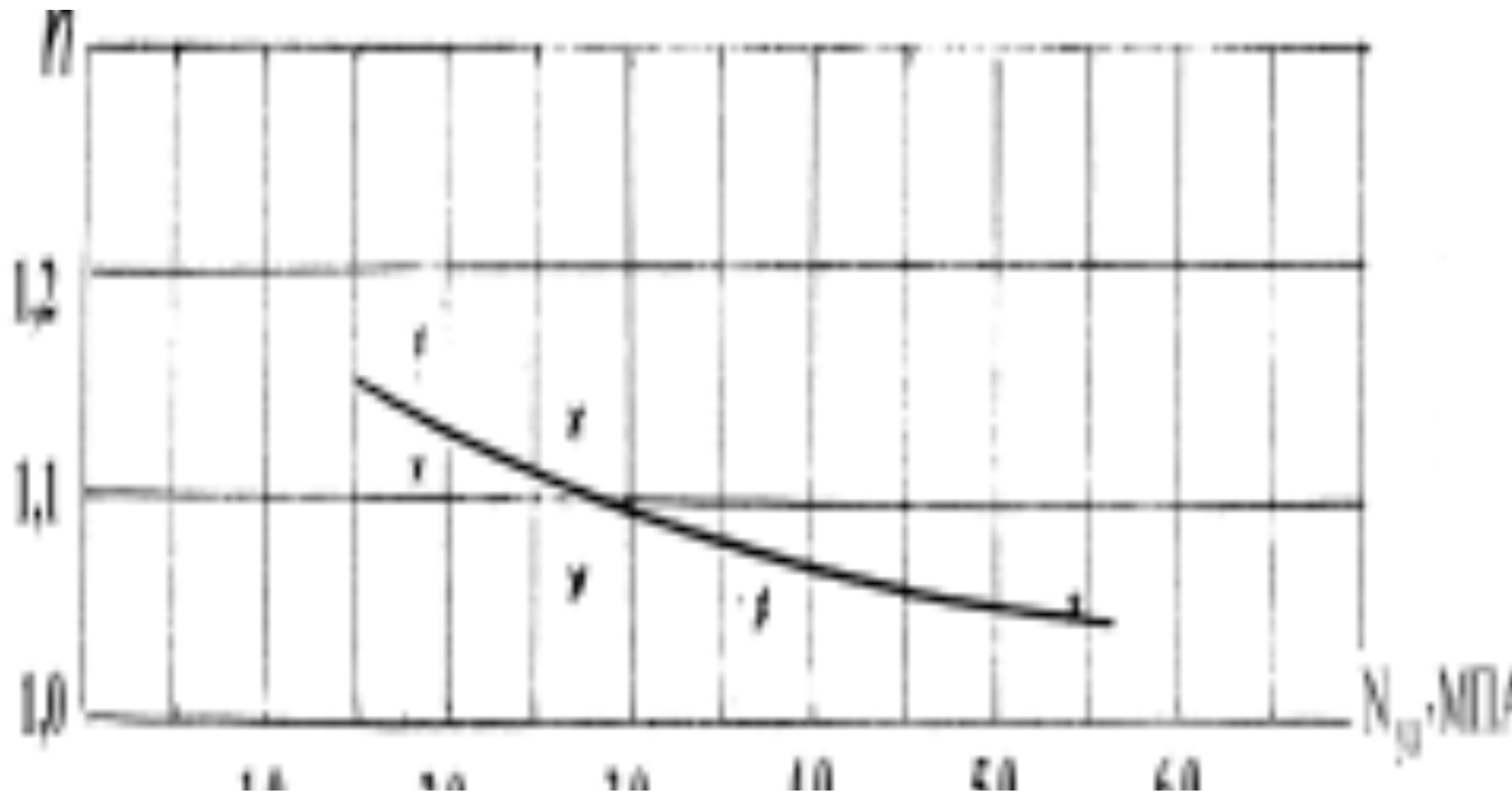


РИС.2. ОПЫТЫ НА СОСТАВЕ ТГТ-5: 1- БЕЗ ОПИРАНИЯ, 2 - С ОПИРАНИЕМ НА ПЕРФОРИРОВАННЫЙ ДИСК.  $P$ - ДАВЛЕНИЕ В ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ ПО ВРЕМЕНИ.

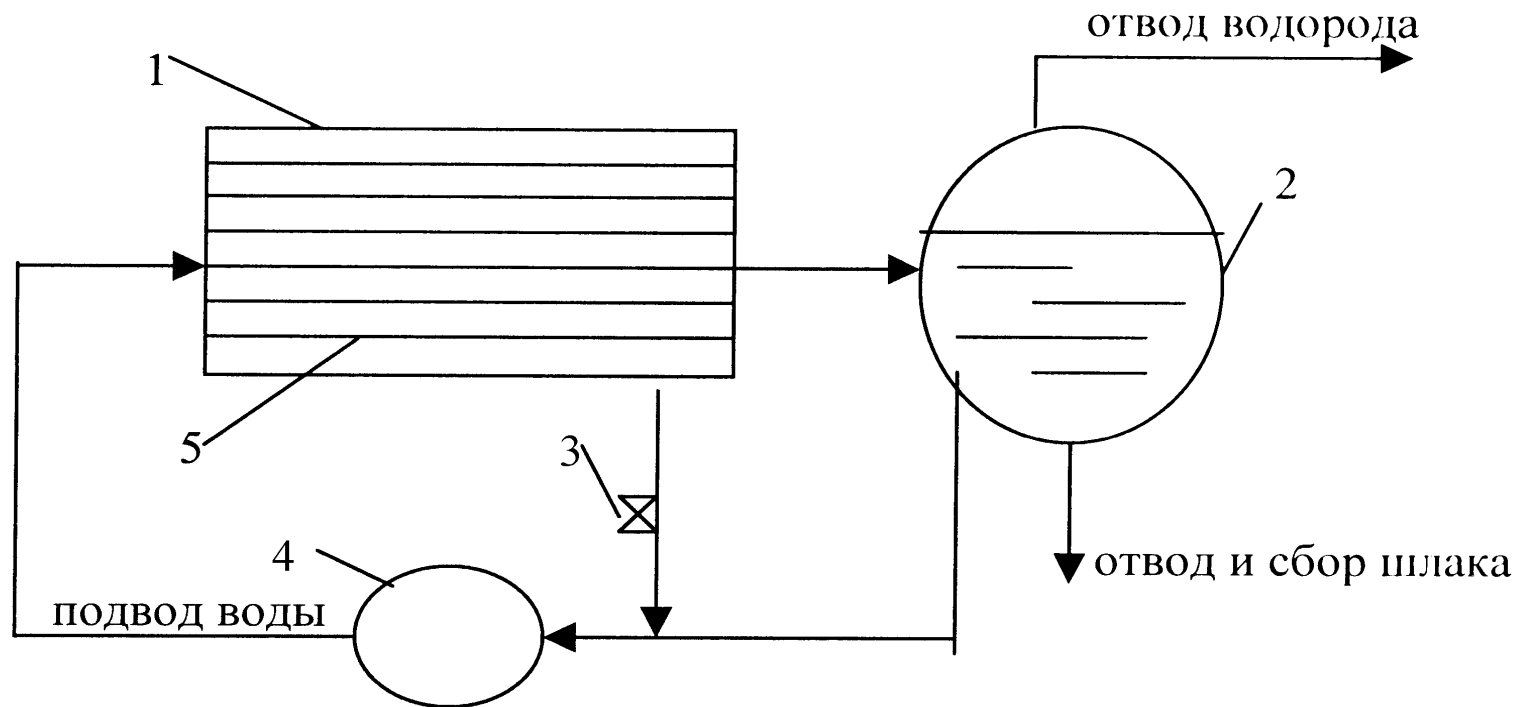
# Опыты с охлаждаемыми опорами



# Теплопрочностное воздействие на композит

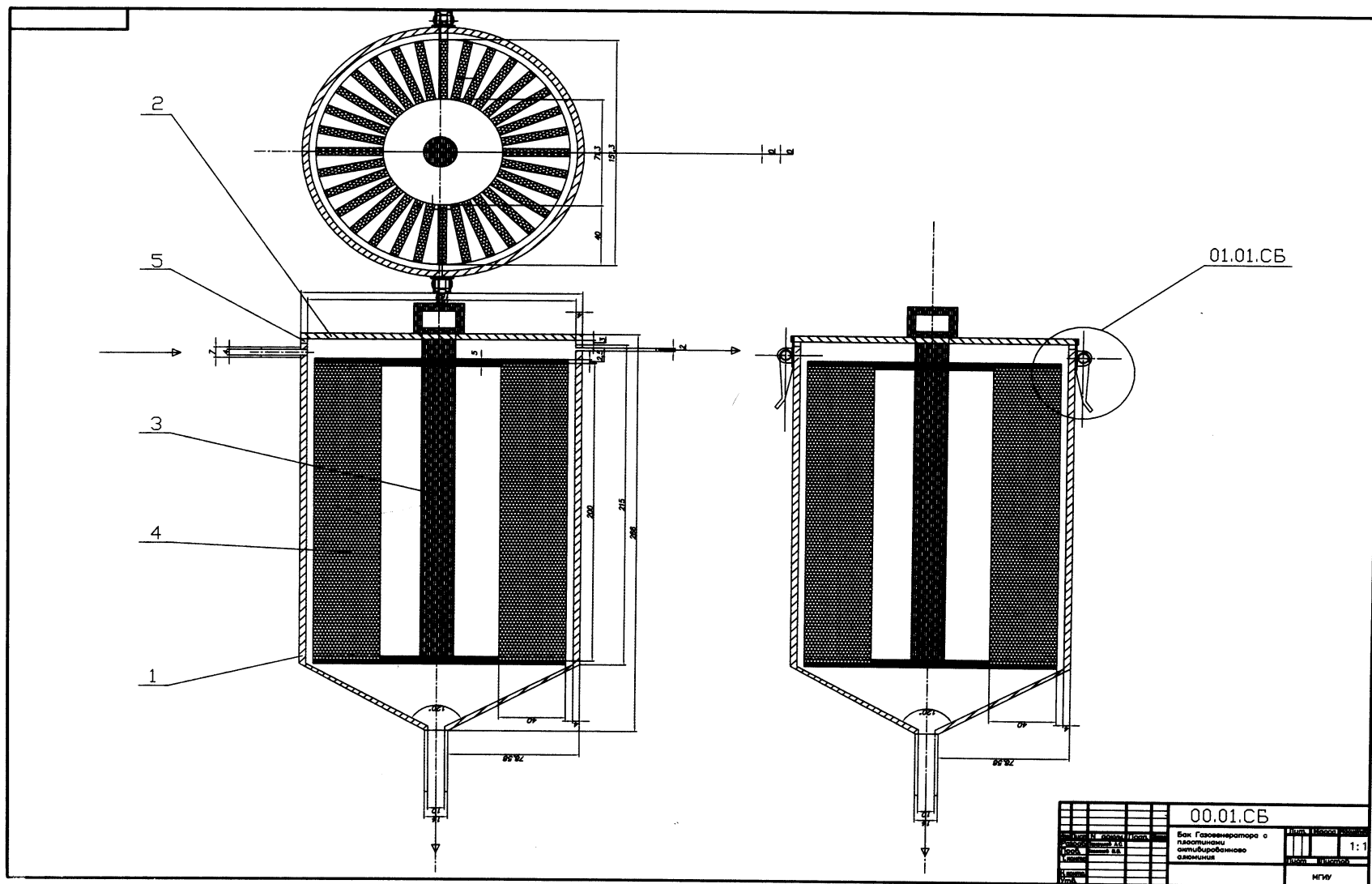
марка	Т9-БК-2	Пал-16\10	НМФ-2	МК-8В	МТ-19
Прочность на сжатие	45	75	190	154	421
n	7	6	3	1,3	1,06

# Схема газогенератора на активированном алюминии

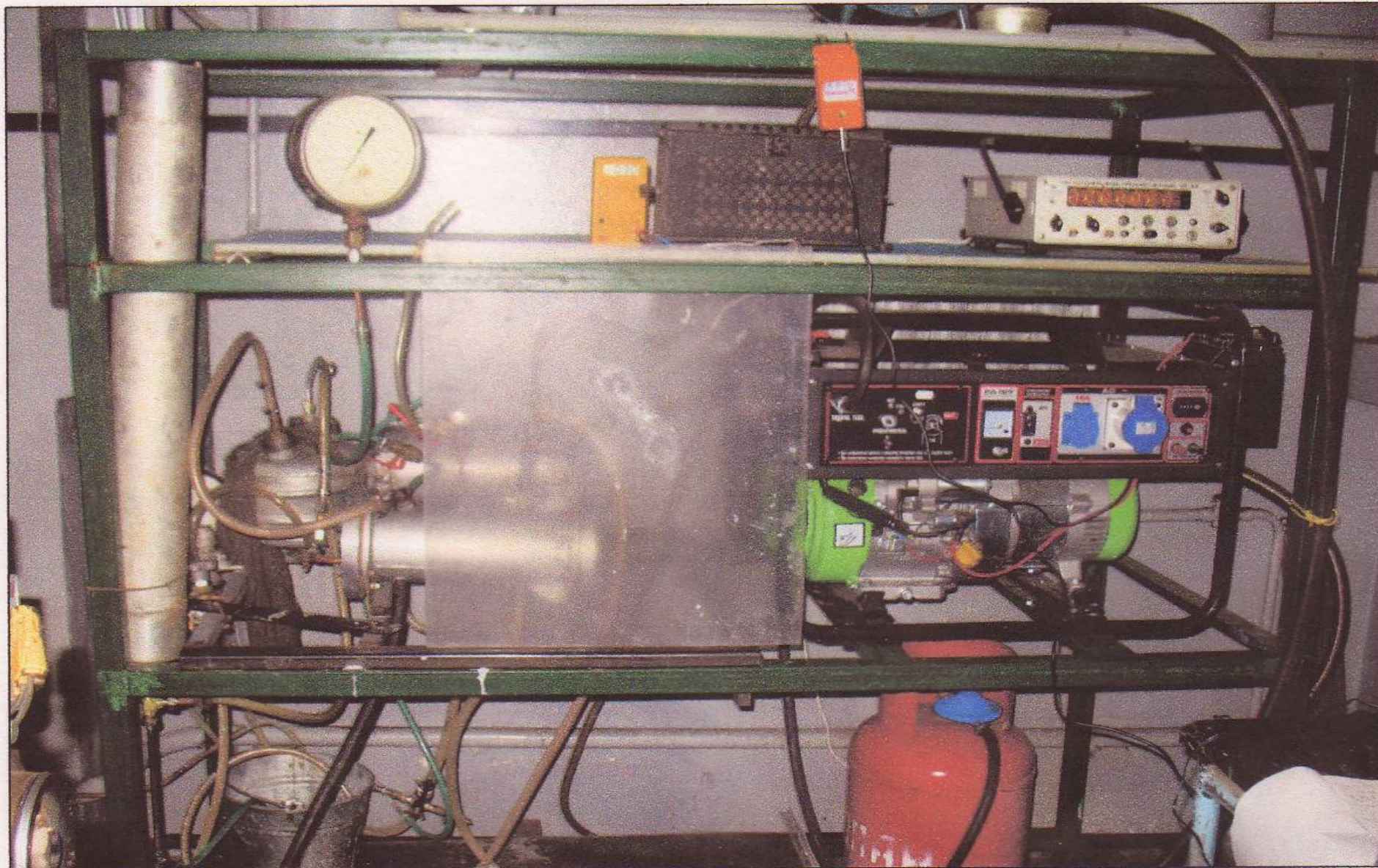




# Сборочный чертеж активной зоны газогенератора



# Демонстрационный стенд в МГИУ



## Сплавы автора и сплавы ВАМИ

Весовой состав, %					
№ сплава	Al	Cu	Mg	Zn	Fe
1	96	4	-	-	-
2	99	1	-	-	-
3	94,5	4	1,5	-	-
4	90,5	4	1,5	4	-
5	92	4	-	4	-
6	91	4	-	4	1

Сплав №	Ga	In	Zn	Sn	Mg
1	3	3	-	0,5	0,1
2	3	3	5	0,1	0,5
3	3	3	5	0,5	0,5
4	3	3	1	0,1	0,5
5	3	3	1	0,5	0,5
6	3	3	1	0,15	0,5

# Генерация водорода при окислении А1 и его сплавов в различной воде

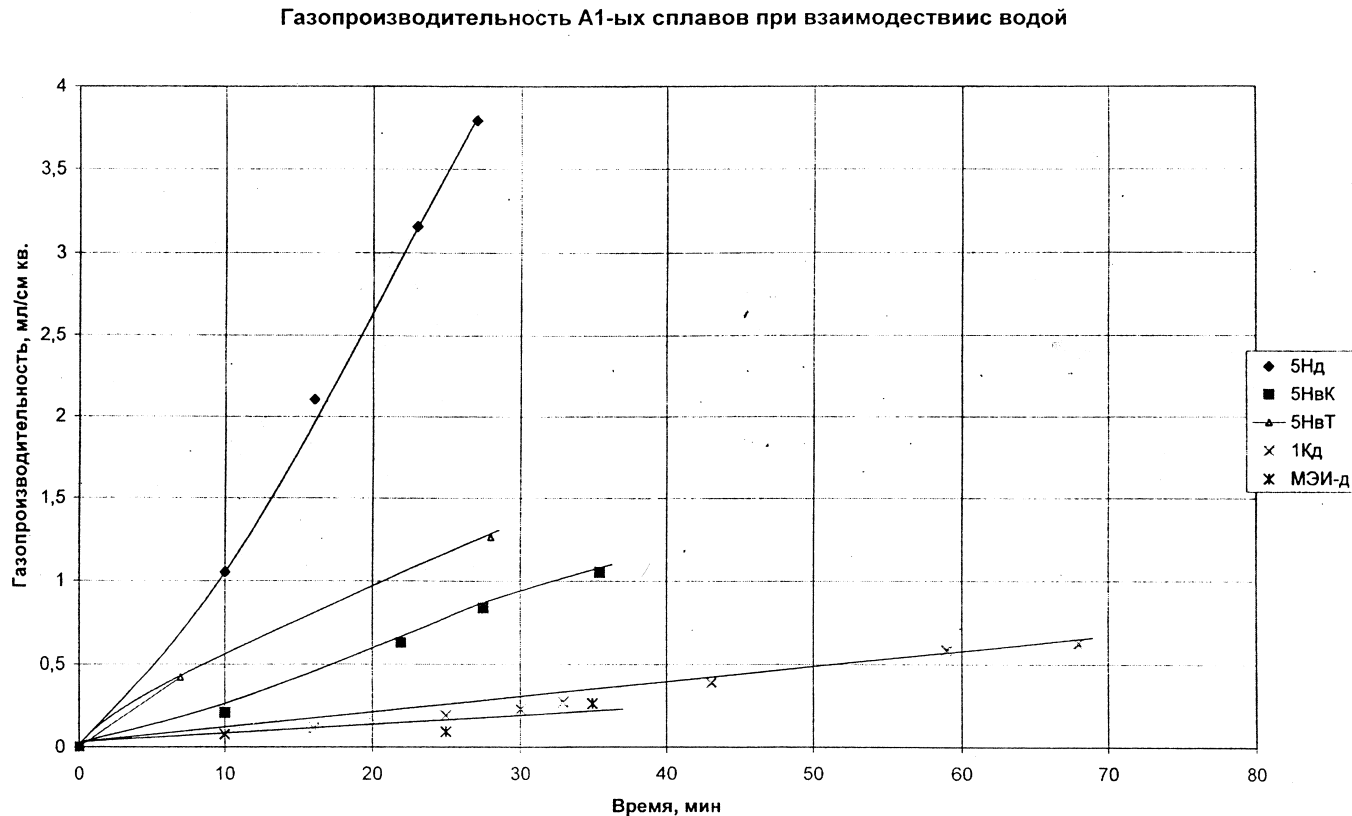
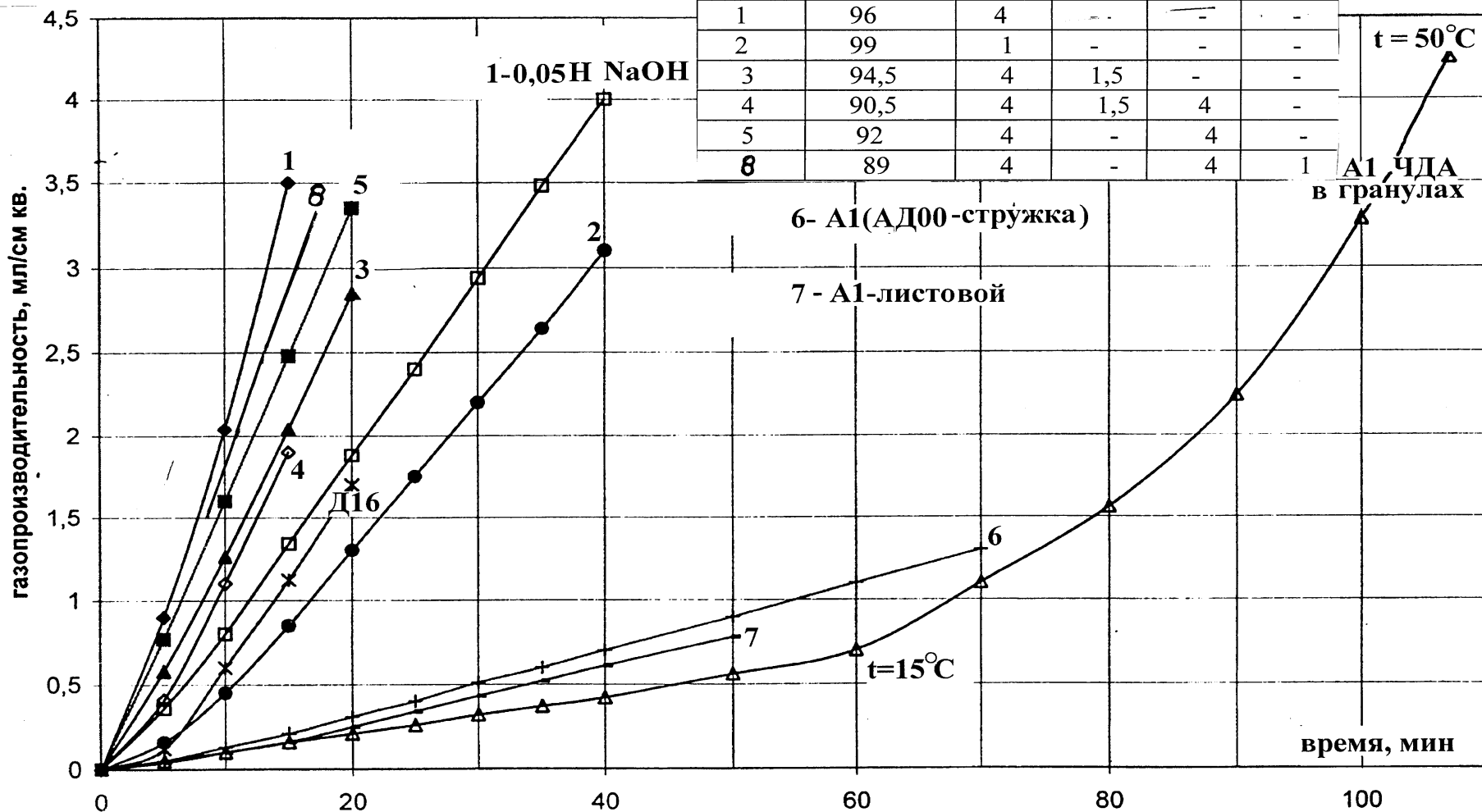


Рис. 39

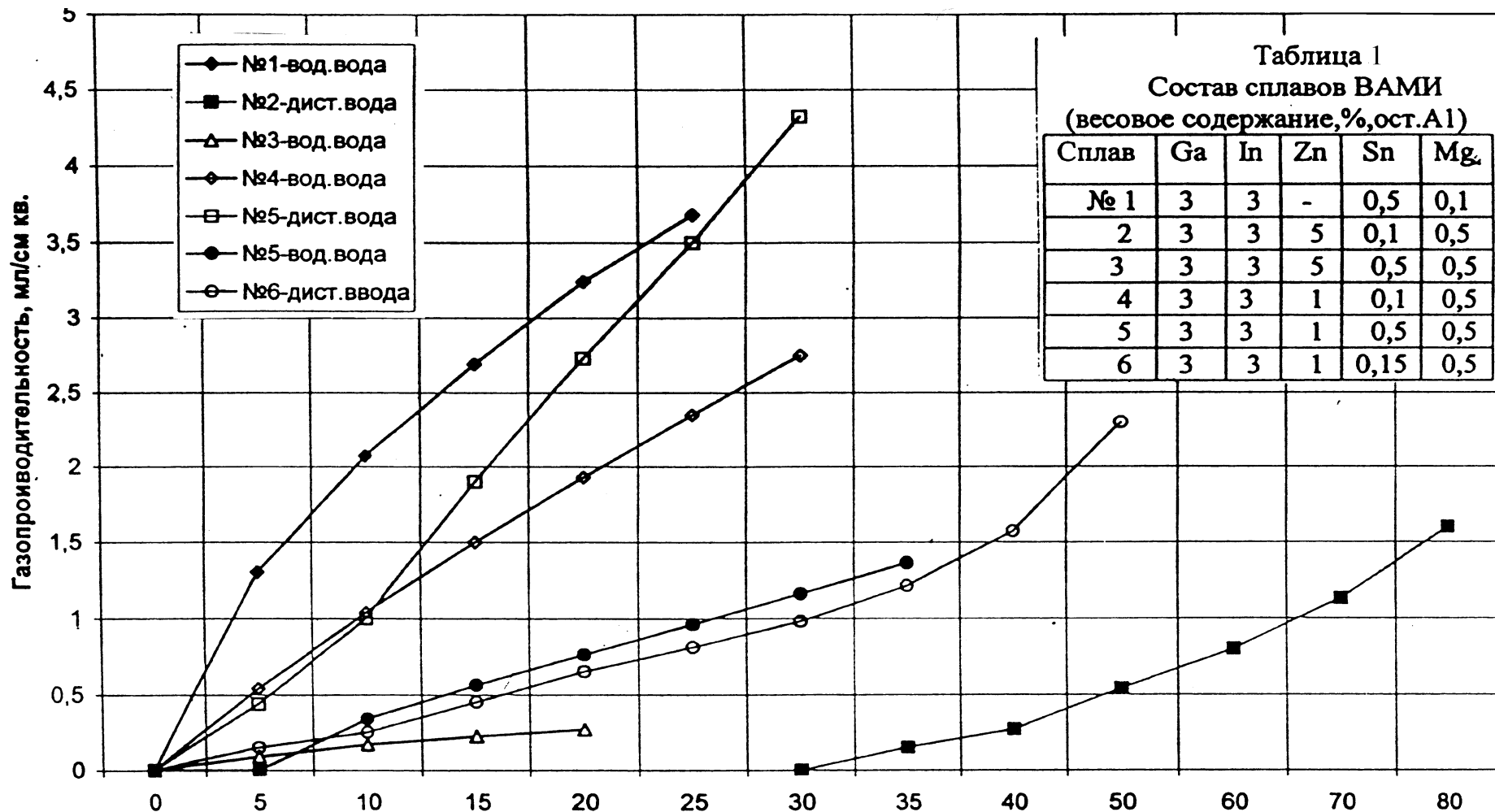
# Взаимодействие А1 и его сплавов со слабым раствором щелочей

Таблица 7

Весовой состав, %					
№ сплава	Al	Cu	Mg	Zn	Fe
1	96	4	-	-	-
2	99	1	-	-	-
3	94,5	4	1,5	-	-
4	90,5	4	1,5	4	-
5	92	4	-	4	-
8	89	4	-	4	1



# Газопроизводительность по водороду сплавов ВАМИ в различной воде



# Сравнительные весо-габаритные характеристики различных схем питания автомобиля класса «Жигули» водородом

Система питания автомобиля	Объем топливного бака (ТБ), Л	Вес топлива + вес ТБ, кг
Сжиженный водород	157	12 + 164
Газобаллонная система	620	12 + 1078
Термосорбционный компрессор на $\text{LaNi}_5$	310	12 + 826
На активированном А1	43 + 30(ресивер)	57,6 + 57,6(доп. вода)
Бензин	43	40

## Экспериментальные результаты и гипотезы

Взрыв гремучего газа в к.с.. Предположим, что весь объем к. с. заполнен смесью гремучего газа (1г-моль  $H_2$  и 0,5 моля  $O_2$ ), т.е. 2 г водорода и 8 г кислорода. Из уравнения Клапейрона-Менделеева, зная объем к. с.  $12 \text{ дм}^3$  и  $P_{\text{маг}}$  в к.с. при разрывных болтах  $70 \text{ кг/см}^2$  и  $T_{\text{кк}}=2000 \text{ К}$ , находим массу гремучего газа – 40 г, что соответствует 538 кДж теплоты. Это почти в 13 раз слабее самого слабого взрыва Результаты расчетов по энергетике взрывов с учетом силы отбрасывания корпуса ГГ для нескольких испытаний приведены в таблице.

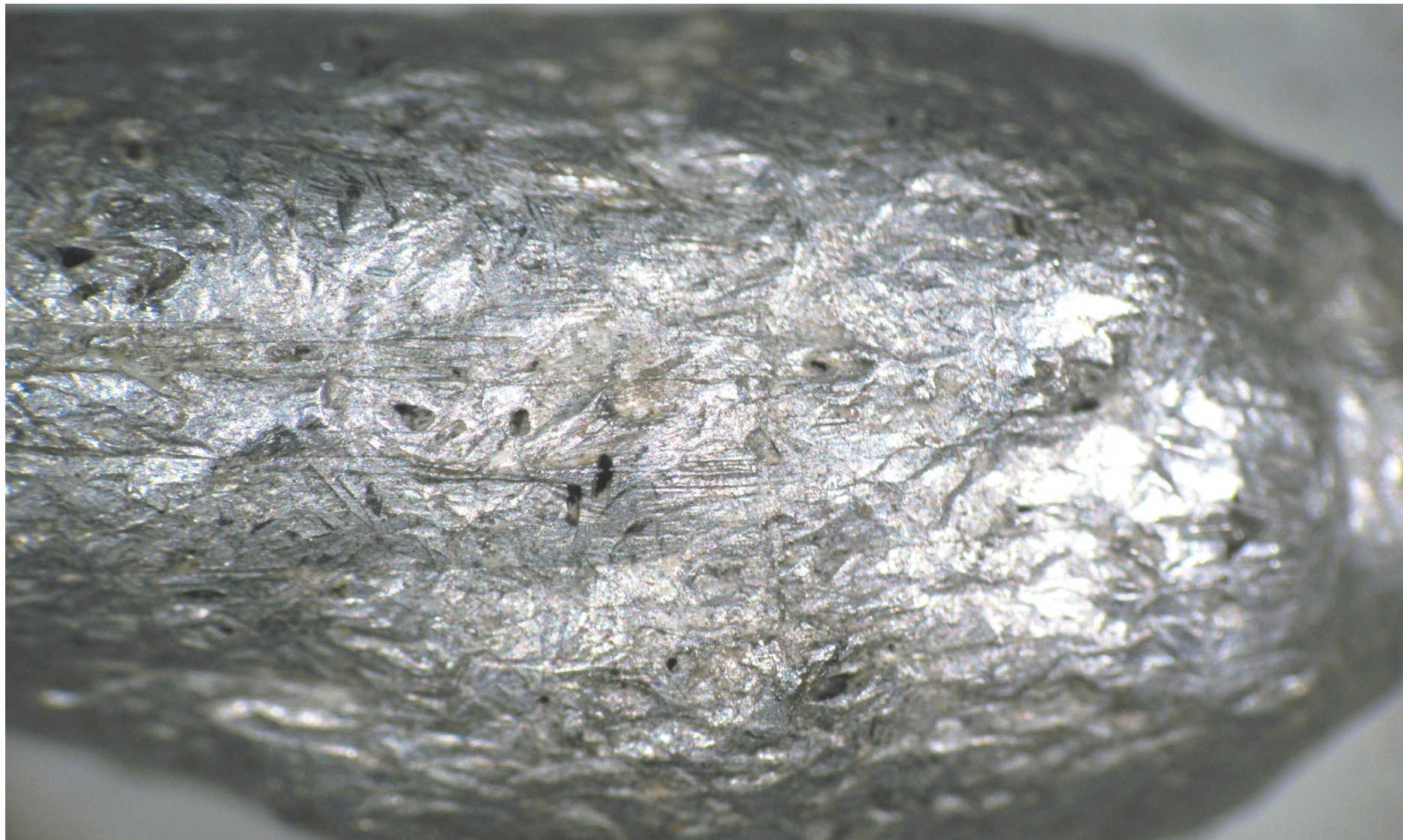
Самый слабый из зафиксированных взрывов  $E_{\text{к}} = 3162 \text{ кДж}$  (отброс на 100 м массы 187 кг). Самый сильный 161700 кДж (отброс на 400 м массы 577 кг). Это соответствует мгновенному сгоранию 10,73 кг А1 в парах воды.

Ни по воде, ни по А1 такие условия в камере сгорания не соблюдаются. С учетом толщины расплавленного слоя А1 на реакционной поверхности и ее размеров максимальная масса составит не более 2 кг А1. Чтобы мгновенно распылить хотя бы такое количество А1. Для этого необходим взрыв, т.е. образованием значительного количества гидрида А1 и его мгновенным распадом. При взрыве композит выбрасывался из камеры без видимых разрушений и загасал, т.е. не детонировал. К детонации, следовательно, можно отнести тот А1, который скапливается в к.с.и насыщается Н до состояния А1Н. Согласно конструкции к.с. вес А1Н перед взрывом составил 425 г. Масса растворенного в нем водорода составляет 1/28 часть, т.е. 15,2 г. Если учесть, что в таком расплаве Н находился в виде протонного газа, то присоединяя электрон и рекомбинируя в молекулярный водород, на каждый г-атом получаем энергию 1520 кДж и соответственно для 15,2 г-а 23100 кДж. Это соответствует мощности исп. №4. Перед взрывом расплав имел плотность  $2 \text{ г/см}^3$ , то масса расплава составляет 2,55 кг и водород в А1 перед взрывом ( а это порядка 0,1 сек) мог диффундировать в количестве 6-9 раз больше предыдущего варианта, т.е. энергетика взрыва здесь увеличивается соответственно до 138600 - 207900 кДж. Как раз в этом диапазоне находятся исп.№2 и №3. К энергетике взрыва- окисление части распыленного А1 в парах воды. Как установили металлурги в своих опытах, % окисления был невысок и составлял всего 7-8%. Следовательно, даже приняв по максимуму 2,55 кг А1, сгорит его всего 200г, а это значит добавка в 3000 кДж, что судя по исп.№3 составляет не более 2%, что еще раз подтверждает физическую модель взрыва расплава А1 в парах воды,

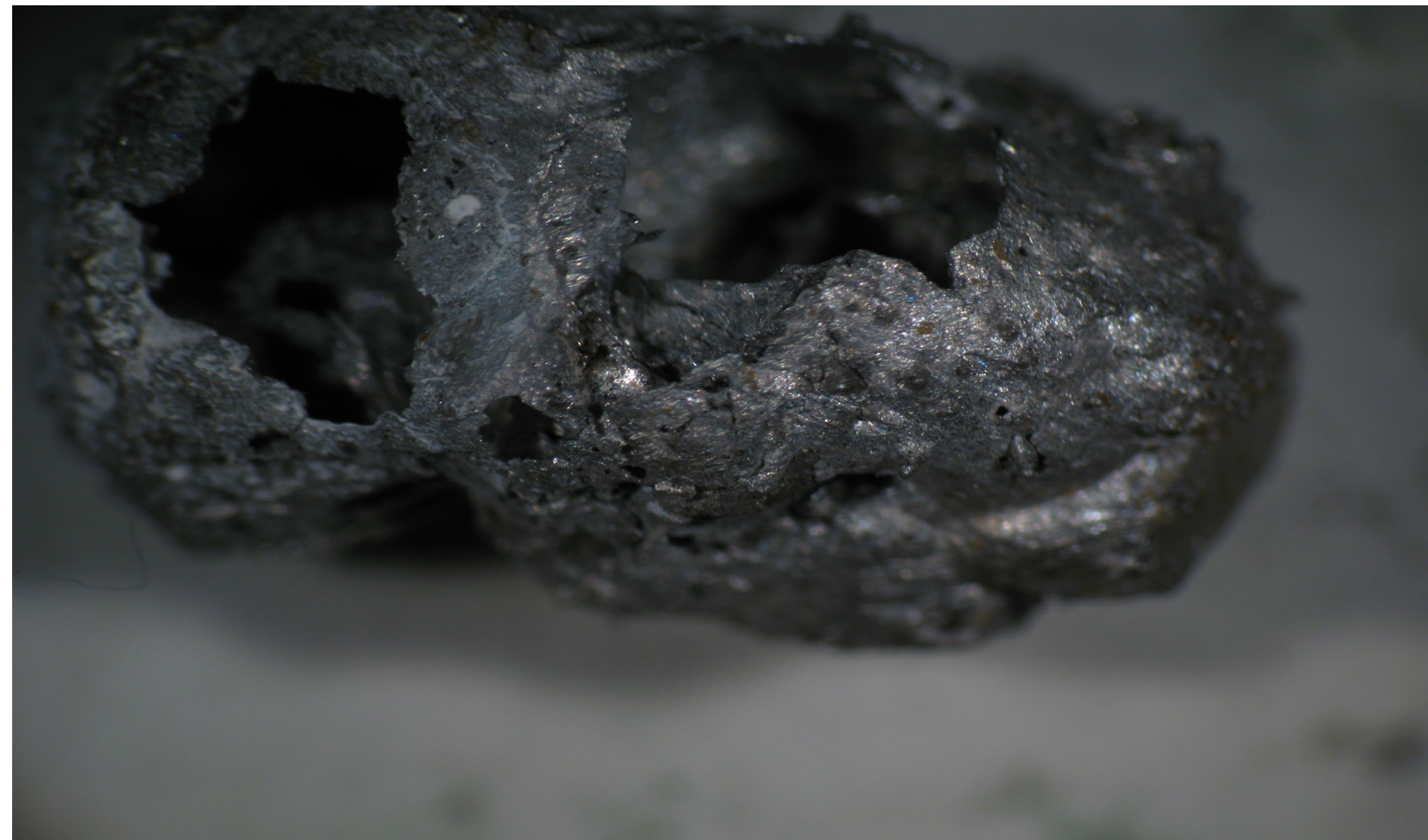
№ исп.	$\tau_{\text{взр}}$ , сек	L, м	m, кг	V, м/с	$E_{\text{к}}$ , кДж	D, м\с
1	11	100	187	184	3162	
2	49	300	984	558	$15,3 \cdot 10^4$	
3	52	400	577	749	$16,2 \cdot 10^4$	22470
4	130	150	577	285	$2 \cdot 34 \cdot 10^4$	21003



# Активация алюминия водородом на начальной стадии



# Активация A1 на промежуточной стадии



# Активация алюминия водородом на последней стадии образования $A1H$



Рис. 20

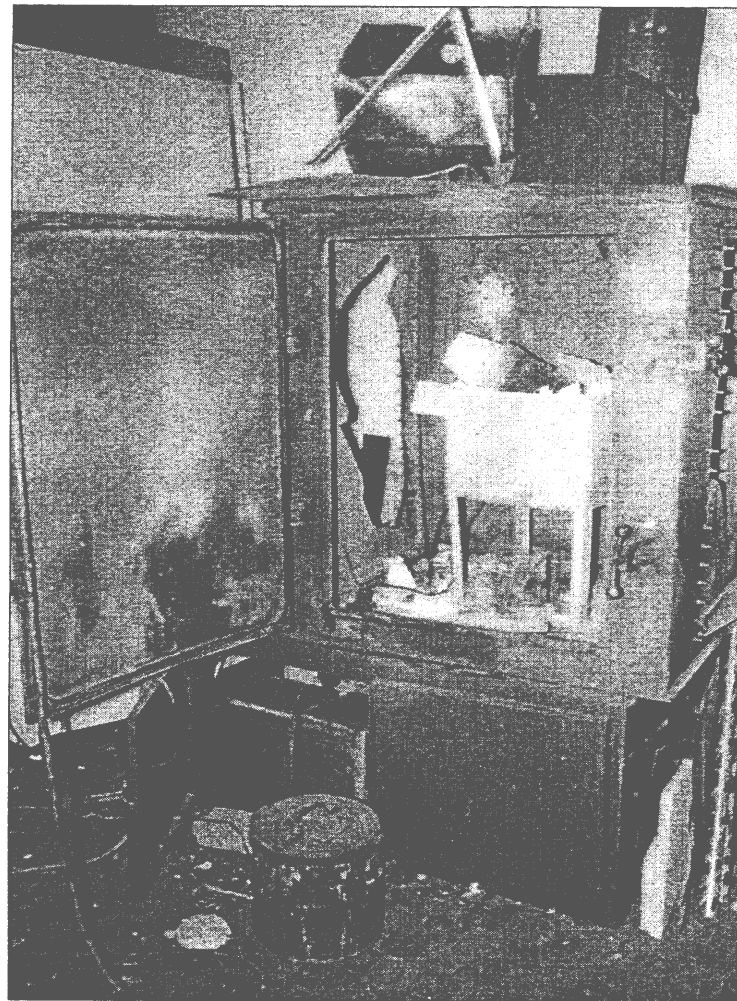


Рис. 21

# Изотермы растворимости водорода в А1

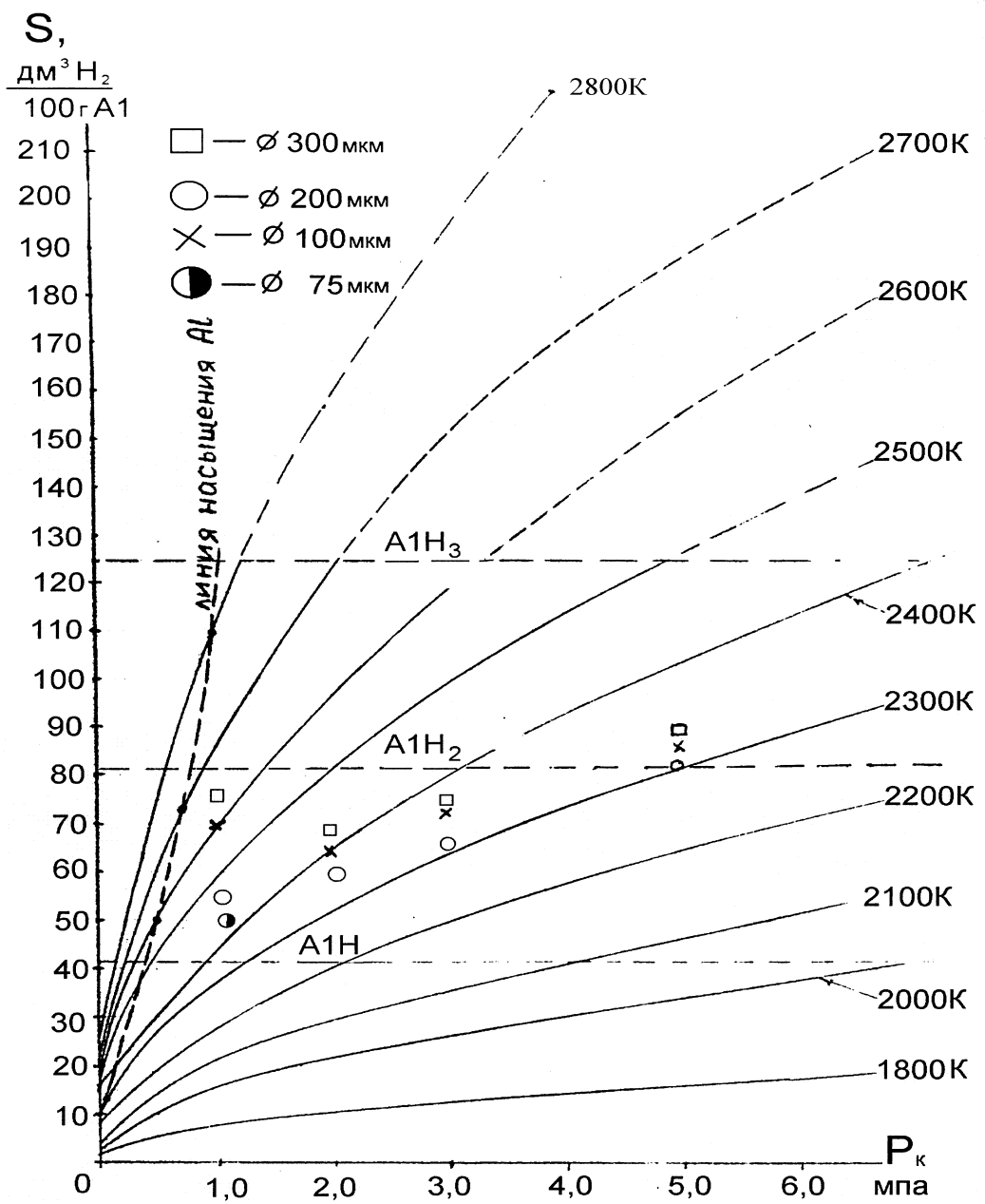
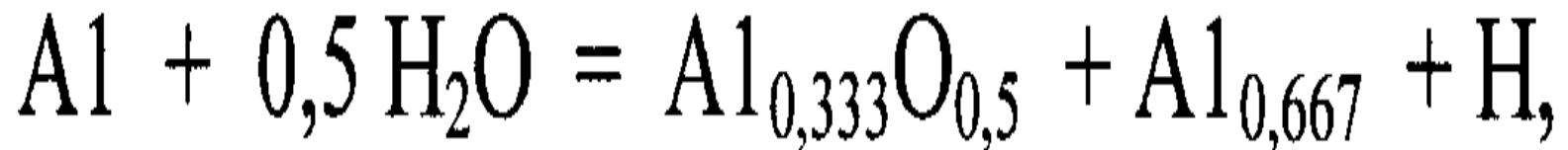
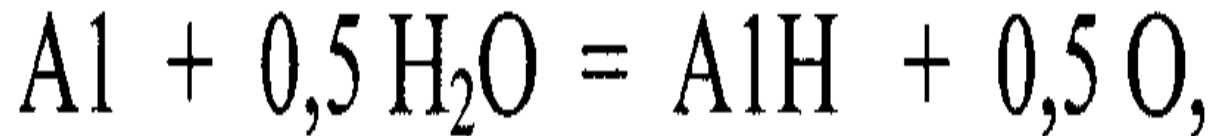
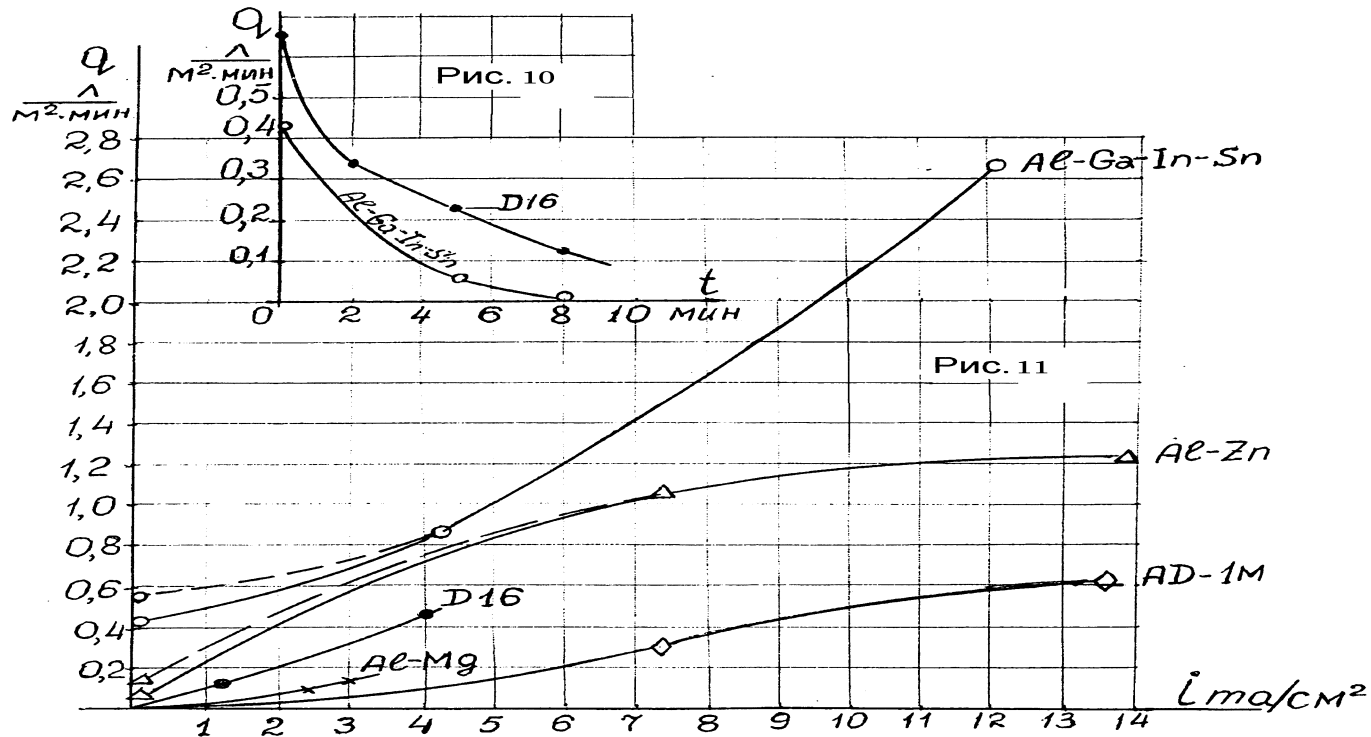
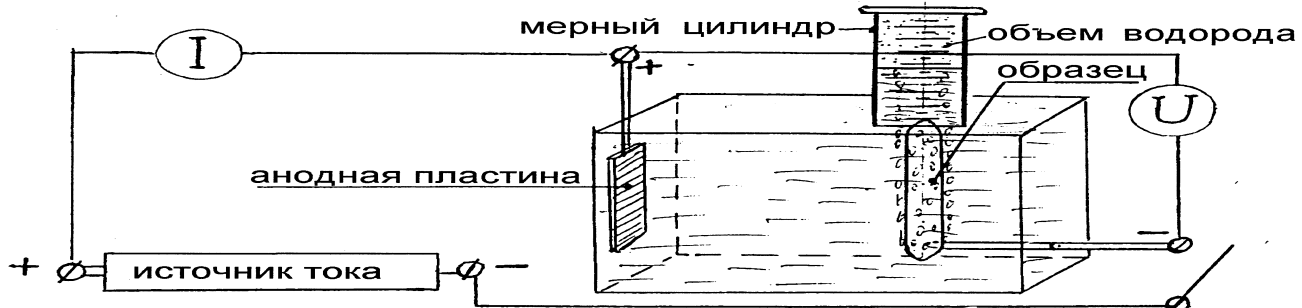


РИС. 5. ИЗОТЕРМЫ РАСТВОРИМОСТИ ВОДОРОДА В РАСЧУДЕ АЛЮМИНИЯ С РОСТОМ ДИАМЕТРА

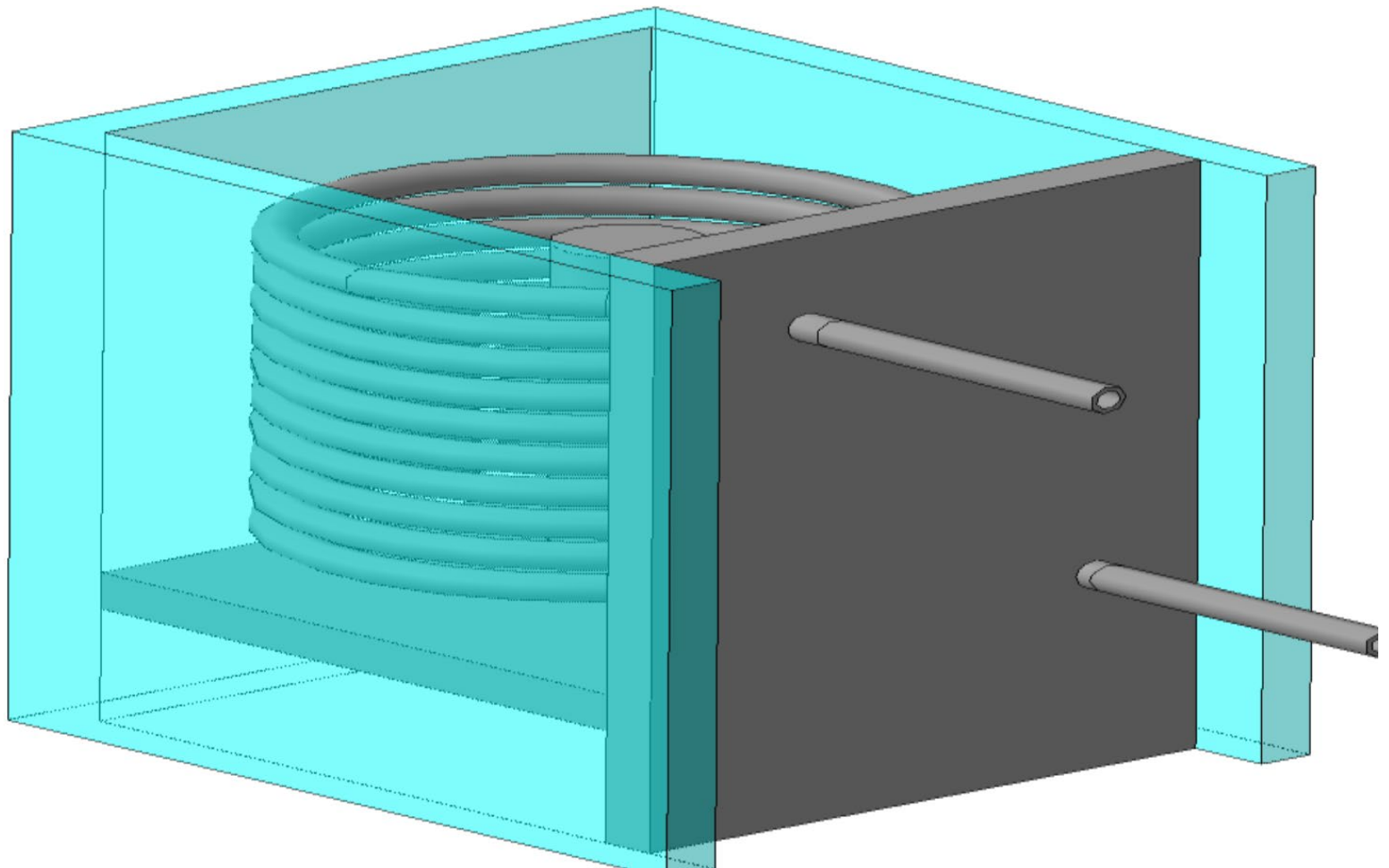
Постадийный процесс горения  $A_1$  в парах воды  
с образованием полых сфер и  $A_1H$



# Активация сплавов алюминия зарядом электрического тока



# Электродлизер с теплообменником

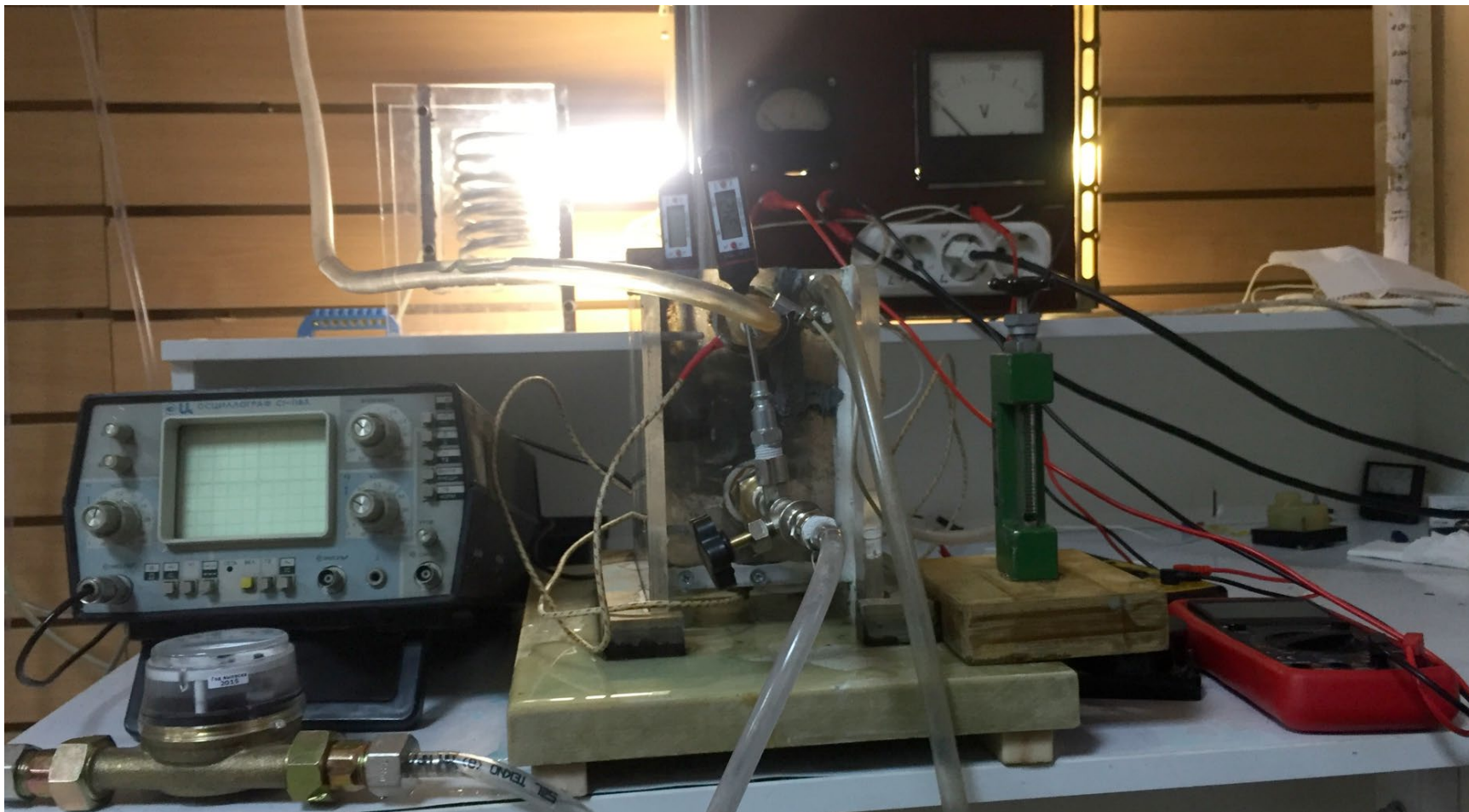


# Эксперимент с электролизной ячейкой с активным катодом и анодом-теплообменником





## Рабочая установка в МРТИ РАН



## Таблица испытаний

№ исп.	t, мин	V, см <sup>3</sup>	U, в	I, ма	i ма/см <sup>2</sup>	T <sup>0</sup> С	q, л/м <sup>2</sup> мин	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	10	6,6	30	90	1,2	25	0,086	Довольно хорошее выделение водорода после сжигания U - выделение сразу прекращается.
2	5	20	110	300	4	25	0,526	Бурное выделение водорода. После отключения слабое выделение там, где образец почернел.
3	2	8	110	300	4	25	0,53	Бурное выделение. Образец постепенно чернеет по всей поверхности.
4	6	24	110	300	4	30	0,53	Бурное выделение водорода. Образец почти весь черный.
5	4	16	110	300	4	40	0,53	После отключения очень хорошее выделение водорода. При этом процессе, вливая холодную воду, доводим ее до 25 град.С. Интенсивность выделения практически не нарушается. Начинают отскакивать черные чешуйки.
6	3	4	110	300	4	25	0,53	После отключения выделение средней интенсивности. Извлечение анода на процесс не влияет. Через 15 мин. выделение водорода прекратилось.
7	10	60	110	300	4	25	0,53	Активируем уже полностью черный образец, расположив его горизонтально 3 значения V и q – экстраполированы. После отключения вода не нагрелась и идет хорошее выделение водорода, как на первом исп. под напряжением. Сверху образца отскакивают местами черные чешуйки и всплывают вверх – вероятно от насыщения водородом. Пластмассовым скребком чернота соскабливается и падает на дно, а под ней свежая чернота.
8	1	-	110	300	4	25	-	Бурное выделение. После отключения тока выделение водорода прекратилось только через 15 мин

**Продолжение табл.1**

Продолжение таблицы

	16	3	1	-	-	-	22	0,043	Опыт с отключением тока.
	17	10	50	110	300	4	40 конечн	0,658	К началу опыта кончик сигары был под водой. К концу над водой 24мм
	18	2	5	0,88	1	0,01	39	0,327	Опыт с отключением тока.
	19	3	5	-	-	-	38	0,22	Опыт с отключением тока.
	20	3	2,5	-	-	-	36	0,11	Опыт с отключением тока.
	21	10	10	30	90	1,2	22	0,131	Опыт с активированной (черной ) сигарой, где $q$ в 1,5 раза выше, чем в исп. №1, где образец не активир. После отключения слабое выделение водорода.
	22	10	10	30	90	1,2	22	0,131	Повторное испытание через 2мин. для достоверности результата – совпадение 100%.
2	23	10	12,5	110	270	3,6	22	0,164	Нач.э.д.с.=0,6в на расстоянии между электродами 100мм, на расстоянии 30мм – 0,64в. Конечное э.д.с.=1,24в.

продолжение таблицы испытаний

24	10	12,5	110	270	3,6	22	0,164	<b>Повторное испытание для воспроизводимости(100%). После отключения едва заметно выделение водорода в течении 10мин.</b>
								<b>Образец- цилиндр из А1-АД-1М</b>
25	10	10	110	225	13,6	22	0,606	Образец не активировуется.
26	10	5	30	120	7,27	22	0,303	Образец не активировуется.
								<b>Образец – цилиндр из А1-Zn</b>
27	10	20	110	230	13,9	22	1,212	После отключения тока- слабое выделение
28	10	17,5	110	120	7,27	22	1,06	Снижение I в 2 раза существенно не повлияло на q.
29	10	2	1,24	1	0,06	22	0,121	для этих сплавов типа АП величина q после активирования возросла почти в 1,5 раза.
								<b>Образец А1-Mg сплав-цилиндр.</b>
30	10	2,5	30	50	3	22	0,15	При снятии напряжения тут же прекращается выделение водорода
								<b>Образец –цилиндр(сталь 20).</b>
31	10	2	30	40	2,4	22	0,12	Образец не активировуется.
								<b>Образец-цилиндр(Al-Ga-In-Sn)</b>
32	10	7	1,24	1	0,06	22	0,42	Характеристики как и без активации электрическим током
33	2,5	11	110	200	12,1	22	2,67	Настолько бурное выделение водорода, что пришлось сократить время опыта в 4 раза. После снятия напряжения выделение водорода замерили в следующих испытаниях.

## Расчет нагрева воды в электролизной ячейке и затраченной при этом электроэнергии

В качестве примера приводится расчет нагрева воды и газопроизводительности при активировании сплава Д электрическим током.

Исходные данные согласно испытаниям №№ 17-20.

Напряжение в электролизной ячейке на электродах: 110 В  
тока в цепи: 0,3 А

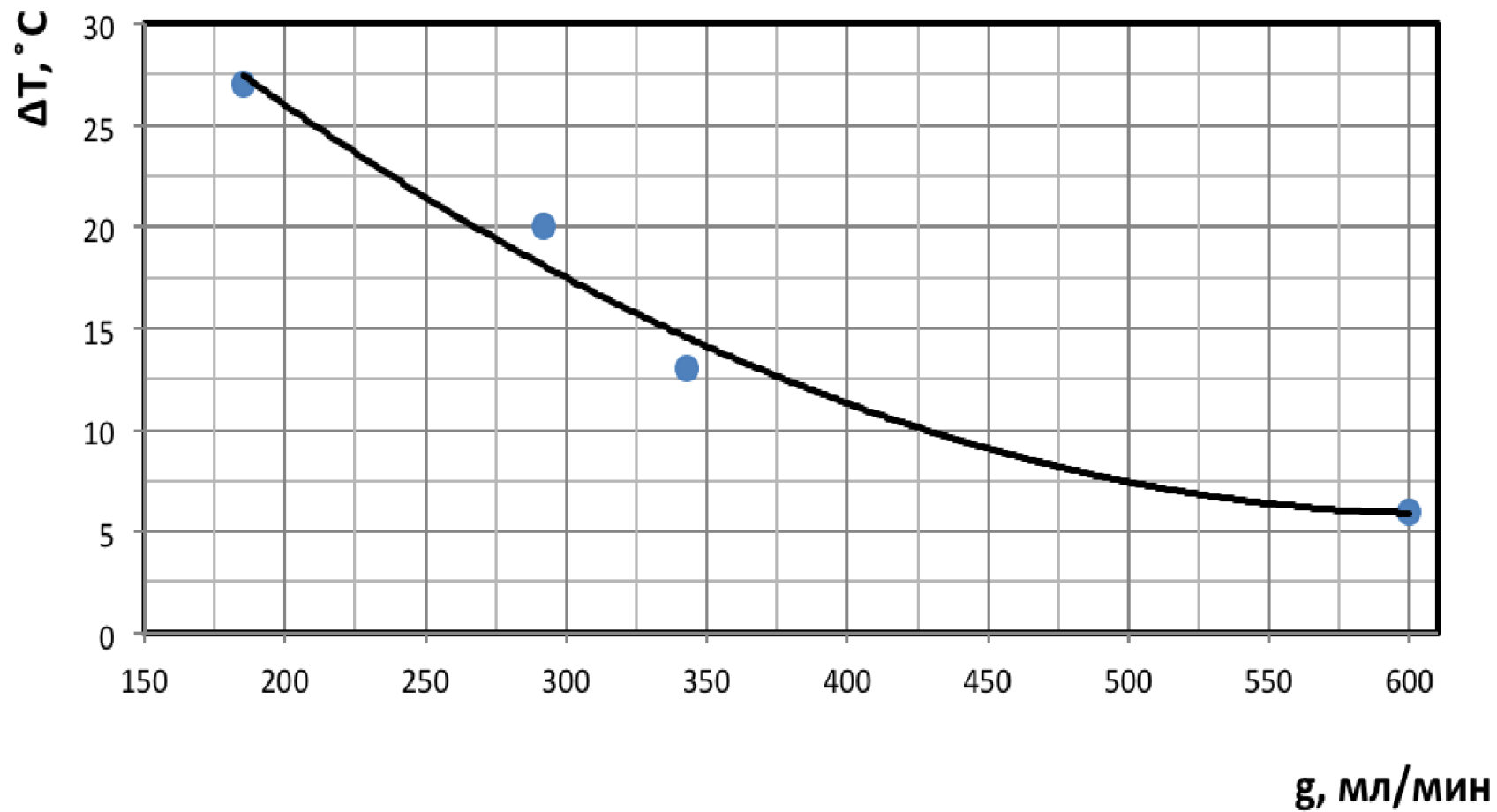
Продолжительность подачи электротока: 10 мин (После активирования электрическим током в течение 20 мин). Опыты проводим с уже активированным алюминием).

Объем воды: 1,5 л, т.е. масса - 1,5 кг

Вода во время подачи тока нагрелась с 22<sup>0</sup> С до 40<sup>0</sup> С, т.е. на 18 градусов. При этом выделилось за 10 минут 6,6 л/м<sup>2</sup> водорода и после снятия напряжения за те же 10 минут выделилось как минимум еще 0,4 л.

**В ячейке выделилось 27 ккал тепла, а затрачено при этом 5,5 ватт. час, что эквивалентно 4,7 ккал, тепла.** Тепло добавляется за счет экзотермической химической реакции активированного алюминия с водой, т.е. при этом расходуется сам материал катода (Д16). Т.е. получили тепла в 5,74 раза больше, чем затратили. М.Флейшман и С.Понс в своих опытах по так называемому “Холодному термояду” получали прирост тепла в 5-6 раз больше затраченного на электролиз. Объяснить они это не смогли и в конечном опыте, когда повысили плотность тока на катоде получили взрыв.

# Зависимость нагрева воды в теплообменнике от расхода теплоносителя.



Параметры процесса теплообразования, величины затрат энергии  
на создание и производство тепловой энергии

№ ИСПЫТАНИЯ	Хим- состав катода	$U_{эфф}$ , В	$I_{ср}$ А	Соленость, г/л	t, ми н	Масса нагреваемо й воды M, кг	Затраченна я эл. энергия E, ккал	Количество теплоты Q, ккал	Кпд системы К
1	Al(98%), In(1%), Ga (1%)	97,5	0,47 2	0	15	3,15	37,5	94,5	2,52
2	Al (94,5%), Cu (4%), Mg (1,5%)	97,5	1,14	0	35	1,5	70,15	87	1,24
3	Al (94%), Cu (4%), Zn (1%), Fe (1%)	97,5	0,67 4	0	40	1.5	37,44	60	1,6
4	Д16Т	97,5	2,52	0	20	5,52	70	149	2,13
5	Д16Т	10,8	3,36	3,5	30	1,2	12,9	21,6	1,67

Из представленных экспериментальных результатов взрывов сделана попытка теоретически объяснить столь мощный энергетический эффект.

Образовавшиеся протоны при взрыве присоединяют электроны образуя атомы, затем атомы рекомбинируются в молекулы. Присоединение электрона при расчете на 1 кг водорода дает 315000 ккал/кг или 1318905 кДж/кг. При рекомбинации атомов в молекулу получаем еще 52000 ккал/кг и того: 367000 ккал/кг или 1536629 кДж/кг. Если учесть теплоту образования даже по максимуму (250 кДж/моль[19]), то на 1 кг А1Н она будет равна 8929 кДж/моль.

В А1Н доля водорода составляет 0,0357, поэтому при распаде 1 кг А1Н тепловой эффект от присоединения электрона и рекомбинации атомов в молекулу водорода составит 54880 кДж/кг А1Н, а с учетом теплоты образования А1Н соответственно 45950 кДж/кг А1Н.

В А1Н<sub>2</sub> доля водорода составит уже 0,069 и соответственно окончательный тепловой эффект реакции распада А1Н<sub>2</sub> составит 97120 кДж/кг.

Если учесть к тому же, что водород сгорит в кислороде воздуха, то в первом случае прибавка будет в 5100 кДж, а во втором случае 9858 кДж, т.е. на порядок меньше, чем от физического распада гидрида А1.



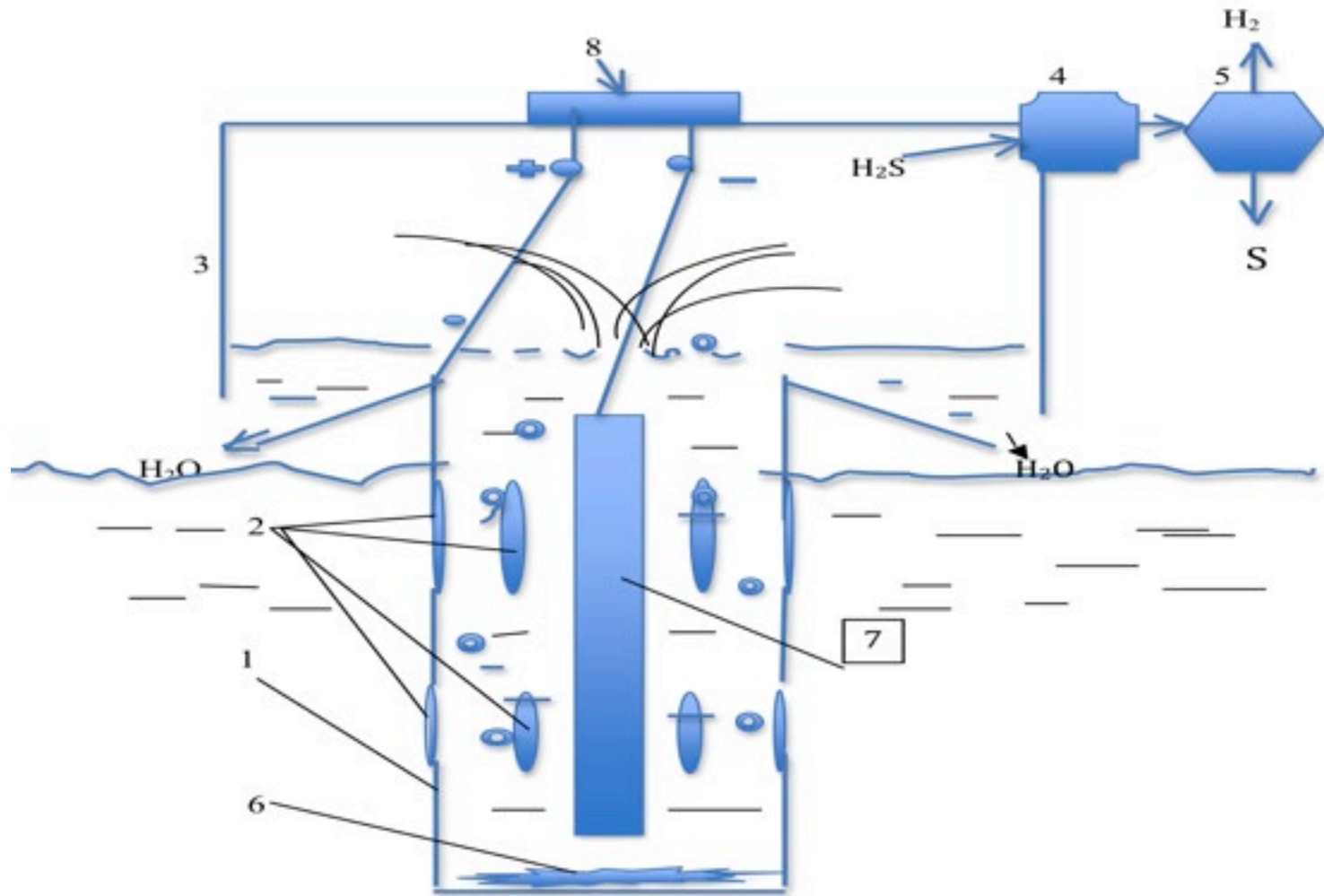
Алюминий, как показывают экспериментальные данные, даже в распыленном состоянии в кислороде воздуха успевает сгореть всего на 7-8%, поэтому тепловой эффект от его сгорания в обоих случаях еще меньше,

К изложенному можно добавить термодинамические расчеты Г. Кострона в которых он получил растворимость водорода в алюминии во влажной атмосфере при 10000K 324 дм<sup>3</sup>, (Kostron H. - Z. Metallkunde, 1952, Bd. 43, №8, S. 269- 284), однако это практически вряд ли достижимо, так как в три раза меньшая величина (слайд 28) приводит к образованию неустойчивых гидридов Al<sub>1</sub>. С этим и столкнулись в Флейшман и Понс, когда авторы, желая получить «холодный термояд», получили по мнению Смилги В.П. [«Наука и жизнь», №6, 1989.] «новую главу в физике неустойчивых гидридов»

## Тепловой расчет взрыва Pd в опытах Флейшмана и Понса

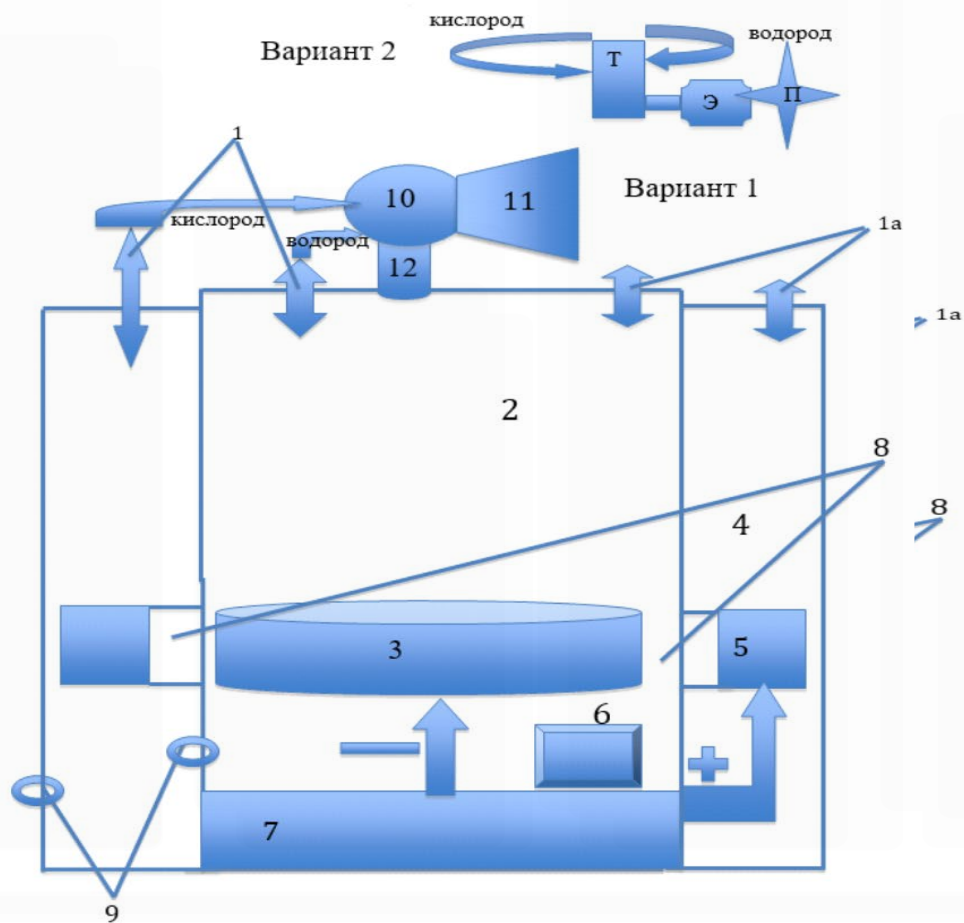
- Катод из Pd варьировали то в виде стержня диаметром 0,4 см и длиной 10 см, то в виде пластины 8x8 см и толщиной 2 мм, то в виде кубика, но вышеупомянутый взрыв произошел лишь на кубике с гранью 1 см. Плотность тока была  $125 \text{ мА/см}^2$  и напряжение на ячейке 1,54 В. При этом вытяжной химический шкаф, где проводился опыт был разрушен вместе с электролизной ячейкой, существенная часть катода расплавилась ( $T_{\text{пл Pd}} = + 1554^\circ\text{C}$ ), часть его испарилась.  $Q_{\text{пл Pd}} = 17 \text{ кДж/моль}$ ,  $Q_{\text{исп}} = 353 \text{ кДж/моль}$  при  $C_p = 25,9 \text{ Дж/моль}\cdot\text{град}$  и  $T_{\text{исп}} = 2940^\circ\text{C}$ . Моль Pd = 106,4 г, если вес кубика Pd = 12 г, то вес его в молях = 0,11. Если предположить, что половина оплавилась и половина испарилась (как утверждают авторы – существенная часть), то на это было затрачено по нашим расчетам примерно **22 кДж**. Теплота образования окиси палладия = 85 кДж/моль, т.е. если бы половина кубика сгорела в кислороде, то при этом выделилось бы тепла всего **4,5 кДж**, т.е. примерно в 5 раз меньше, чем было получено при наших расчетах. Можно сделать вывод - какая бы часть кубика не испарилась – это соотношение будет справедливо. Авторы этот расчет не сделали, но они экспериментально установили на основании своих не взрывных опытов: первое - наличие «избытка выработки энтальпии, заметно зависящего от прикладываемой плотности тока и пропорционального объему электродов, т.е. феномену вместимости палладиевого электрода и второе – выработка тепла может превышать  $10 \text{ ватт/см}^3$  палладиевого электрода. Это подтверждается в течение всего экспериментального времени – 120 часов, в течение которого выделилось больше, чем  $4 \text{ МДж/см}^3$  электродного объема». И тут же авторы восклицают: «Невероятно, что это могло быть благодаря чему-то другому, нежели ядерному процессу».

# Применение активированного А1 для очистки водоемов от сероводорода методом электролиза



Фиг. 1.

# Морской буй циклического погружения и всплытия и после всплытия с перемещением по поверхности в новую точку погружения методом электролиза



# Применение активированного А1 для снижения гидродинамического сопротивления

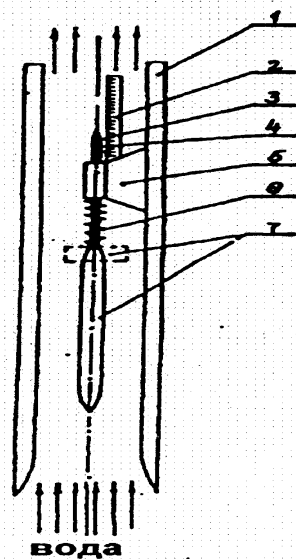


РИС. 6

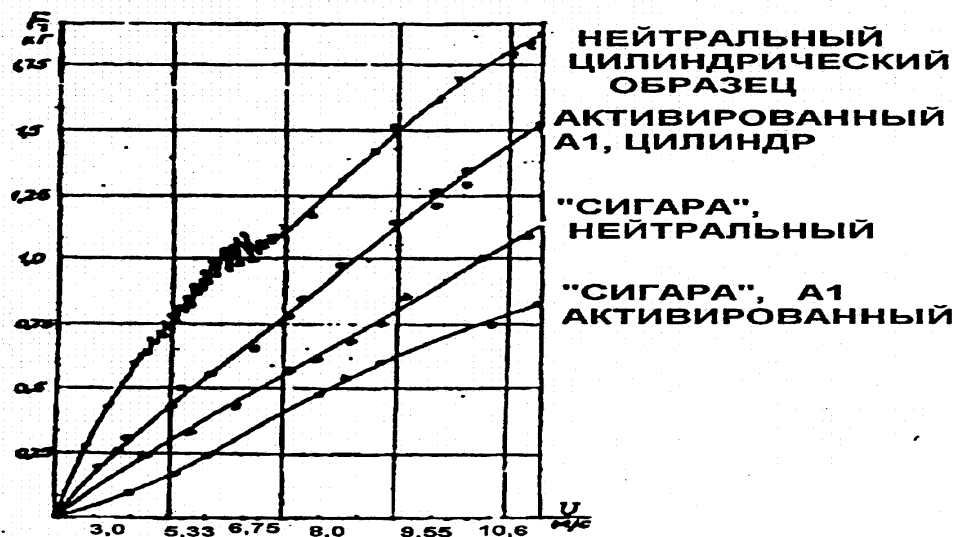


РИС. 7

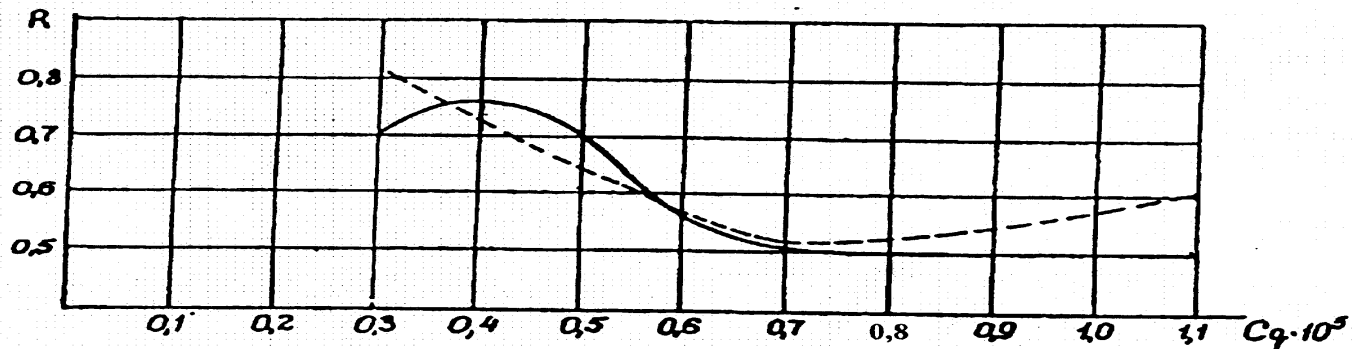


РИС. 8

Φ<sub>0</sub>

$$(5.1) \quad G_{\Sigma} = v_r \cdot \rho_r + v_o \cdot \rho_o = \rho_{\Sigma} \cdot v_{\Sigma},$$

$$(5.2) \quad \rho_{\Sigma} = (v_r \cdot \rho_r + \rho_o \cdot v_o) / (v_r + v_o)$$

Обозначим объемы в относительных величинах:

$$v_r + v_o = 1 \text{ или } v_o = 1 - v_r. \text{ Тогда}$$

$$(5.3) \quad \rho_{\Sigma} = v_r \cdot \rho_r + (1 - v_r) \cdot \rho_o$$

$$\rho_{\Sigma} / \rho_o = v_r (\rho_r / \rho_o - 1) + 1.$$

$$v_r = (\rho_o - \rho_{\Sigma}) / (\rho_o - \rho_r)$$

$$\rho_r = (P\sigma - P_H) / RT,$$

$$P\sigma = 2\sigma / r = 0,014 \text{ Мпа}$$

$$v_r = (\rho_o - \rho_{\Sigma}) / \rho_o = 1 - \rho_{\Sigma} / \rho_o = 1 - v_o,$$

$$(5.4) \quad v_o = \rho_{\Sigma} / \rho_o$$

$$(5.5) \quad \rho_{\Sigma} = (Q_r \cdot \rho_r + U \cdot \delta_o \cdot B \cdot \rho_o) / (Q_r + U \cdot \delta_o \cdot B)$$

$$(5.6) \quad R = (\rho_{\Sigma} / \rho_o)^{0,6} (\mu_{\Sigma} / \mu_o)^{0,2}$$

$$(5.7) \quad R = (\rho_{\Sigma} \cdot \mu_{\Sigma} / \rho_o \cdot \mu_o)^{0,5}.$$

$$(5.8) \quad v_o = (v_r - 4v_c) / v_r, \quad v_r = \sqrt{2 \cdot d^3 / 12}, \quad v_c = \pi d^3 / 30. \quad \rho_o / \rho_{\Sigma} = 9.$$

$$\tau = \mu_{\Sigma} \cdot S \cdot dU / dx = \mu_o \cdot \check{S} \cdot S_o \cdot dU / dx, \quad (5.9) \quad \mu_{\Sigma} = \mu_o \cdot \check{S},$$

$$(5.10) \quad \check{S}_{\min} = S_{\min} / S_{\Delta} = (\sqrt{3/4} - 0,125\pi) d^2 / \sqrt{3} \cdot d^2 / 4 = 1 - \pi / 2\sqrt{3} = 0,0935.$$

$$\mu_o / \mu_{\Sigma} = \mu_o / \mu_o \cdot \check{S} = 10,7.$$

$$(5.11) \quad \mu_{\Sigma} / \mu_o = \hat{S}_o = 1 - 2\pi / \sqrt{3} \cdot n^2,$$

$$(5.12) \quad \rho_{\Sigma} / \rho_o = v_o = 1 - 16\pi / 5\sqrt{2} \cdot n^3.$$

$$\hat{S}_r = 5\sqrt{2} \cdot v_r \cdot n / 8\sqrt{3} \quad (n \geq 2)$$

$$\check{S}_o = \mu_{\Sigma} / \mu_o = 1 - (1 - v_o) 5\sqrt{2} \cdot n / 8\sqrt{3}.$$

$$(5.13) \quad R = (0,8\rho_{\Sigma} / \rho_o)^m \cdot (\rho_{\Sigma} / \rho_o)^n = 0,8^m (v_o)^k,$$

$$(5.14) \quad v_o = (Q_r \cdot \rho_r / \rho_o + U \cdot \delta_o \cdot B) / (Q_r + U \cdot \delta_o \cdot B),$$

$$(5.15) \quad v_o = 1 / (1 + Q_r / U \cdot \delta_o \cdot B) = 1 / (1 + Cq \cdot L / \delta_o) = 1 / (1 + q \cdot L / U \cdot \delta_o),$$

$$(5.16) \quad R = 0,8^m (1 / (1 + Cq \cdot L / \delta_o))^k.$$

$$(5.17) \quad \delta_o = C_q \cdot L / (1/0,894\sqrt{R} - 1) = \delta_r / (1/0,894\sqrt{R} - 1),$$

$$(5.18) \quad Q_r \cdot \rho_r \cdot U^2 / 2 = \text{const} \text{ или } C_q \cdot B \cdot L \cdot U^3 / 2 = \text{const}.$$

$$(5.13) \quad R = (0,8\rho_{\Sigma} / \rho_o)^m \cdot (\rho_{\Sigma} / \rho_o)^n = 0,8^m (v_o)^k,$$

$$(5.14) \quad v_o = (Q_r \cdot \rho_r / \rho_o + U \cdot \delta_o \cdot B) / (Q_r + U \cdot \delta_o \cdot B),$$

$$(5.15) \quad v_o = 1 / (1 + Q_r / U \cdot \delta_o \cdot B) = 1 / (1 + Cq \cdot L / \delta_o) = 1 / (1 + q \cdot L / U \cdot \delta_o),$$

$$(5.16) \quad R = 0,8^m (1 / (1 + Cq \cdot L / \delta_o))^k.$$

$$(5.17) \quad \delta_o = C_q \cdot L / (1/0,894\sqrt{R} - 1) = \delta_r / (1/0,894\sqrt{R} - 1),$$

$$(5.18) \quad Q_r \cdot \rho_r \cdot U^2 / 2 = \text{const} \text{ или } C_q \cdot B \cdot L \cdot U^3 / 2 = \text{const}.$$

# Выводы

- 1. Газогенератор на металлизированном топливе можно применить не только для производства водорода, но и для оживления малодебитных скважин, для расплавления гидратных пробок.
- 2. Энергетику неустойчивых гидридов можно применять для экологически чистых взрывных работ.
- 3. Водородогенерирующие сплавы алюминия (ВГСА) можно применять для корпусов объектов, движущихся в водной среде для снижения ГДС.
- 4. ВГСА можно применить в качестве катода в электролизерах для производства водорода и тепла и для очистки водоемов от сероводорода.
- 5. ВГСА при взаимодействии с водой – источник водорода и тепла для различных транспортных средств.