

Винахід належить до енергетичного машинобудування і може бути використай з метою перетворення хвильової енергії.

Хвильова енергетична установка складається з сукупності занурених у воду однотипних пристроїв, з'єднаних поміж собою повітроводом. Окремий пристрій зображено на фіг.1. Він складається з нерухомої відносно дна основи (1), зробленої у вигляді вертикального, закритого знизу порожнього циліндра, що спирається на занурену нижнім кінцем у ґрунт трубу-палию (5) та здібної переміщуватись вертикально, накриваючи основу зверху, повітряної оболонки ("оболонка"), яка складається з випуклої поверхні (2) та двох коаксіальних порожніх циліндрів (6 та 7). Розміри цих циліндрів підібрали так, що менший (6) знаходиться усередині і розміщується у заповненому рідиною кільцевому зазорі (8) між стінкою та ємкостями з повітрям (9 та 10), а більший (7) зовні циліндра основи.

Таким чином повітряна оболонка складається з двох розділених шаром рідини (8) частин: це простір усередині циліндра (6) з приєднаними до його у конкретну робочу мить ємкостями основи ("робоча камера") та простір поміж циліндрами (6 та 7), обмежений знизу елементами основи та водною поверхнею (11) ("оболонка 1").

Робоча камера через виступаючу над водою трубу (3) та клапан (4) з'єднана з атмосферою.

Розміщені в основі ємкості з повітрям застосовуються по-різному та відрізняються конструктивно. Одні являють собою звичайні резервуари (9), котрі через клапан (12) можуть бути приєднані до робочої камери ("ємкість 1"), інші ("ємкість 2") мають форму стакану (10), усередині котрого розміщується поршень (13), з'єднаний через шток (14) з зануреною у заповнюючу нижню частину стакану рідину (15) порожню кулю (16). Об'єм кулі обраний так, щоб діюча на його з боку рідини виштовхуюча сила зрівноважувала вагу поршня, штока та самої кулі. У верхньої частині стакану розташований упор (17), котрий обмежує переміщення поршня.

Ця конструкція працює таким чином: оскільки для того, щоб поршень перебував у спокої необхідна рівновага тиску повітря зовні та усередині ємкості, то при зміні тиску у робочій камері поршень буде рухатись таким чином, щоб ця рівність відновлювалась. Так у випадку зменшення тиску поршень буде підніматися до тих пір, поки не торкнеться пружкої прокладки (18), котра розміщена по периметру обмежника (17) і служить як амортизатором так і забезпечує герметичність з'єднання.

Точна корекція об'єму робочої камери здійснюється так: по штоку (19) розташованому по осі труби-пали (5) та прикріпленому до неї кінцями, переміщується поршень (20) з умонтованими у його клапаном (21) та фіксуючим пристроєм (22). У випадку, коли потрібно зменшити об'єм робочої камери: клапан (21) закрити, фіксуючий пристрій (22) відключити і у підпоршневий простір ("ємкість 3") нагнічується повітря з робочої камери; збільшити: клапан (21) відкрити, пристрій (22) відключити і поршень під дією власної ваги опускається. Коли поршень займає потрібне положення клапан (21) закрити, фіксуючий пристрій (22) відключити.

Об'єм, котрий займає повітря у ємкостях (9 та 10), регулюється перекачуванням рідини (15, 23) у спеціальний резервуар (не показано); не показані так само насоси, запираючі пристрої, труби за допомогою котрих здійснюється корегування параметрів (об'єм та тиск повітря).

"Оболонка 1" з'єднана через повітропровід (24), камеру (25), у котрій знаходяться турбіна (26), генератор (27), блок управління (не показано), повітропровід (28) з магістральним повітропроводом (29, фіг.2). Повітропровід (28) з'єднаний трубою (30) з камерою (31) ("компенсатор"), у вигляді розташованого на певній глибині, відчиненого знизу, частково заповненого повітрям стакану. Призначення компенсатора отаке: при зміні рівня води (приплив) передбачено (опис далі) відповідне переміщення оболонки; якщо площа січення компенсатора дорівнює площі січення непокритих водою елементів основи усередині "оболонки 1", то тиск повітря у "оболонки 1" не змінюється.

Під водою поміж циліндра (7) оболонки та стінкою основи (1) розташований екран (32) (прикріплений до основи). Він призначений для того, щоб зменшити зміну рівня води (11) при коливаннях оболонки.

Знизу основи розташовано баласт (33) таким чином, щоб зрівноважити виштовхуючу силу з боку води та компенсувати несиметричний розподіл маси складаючих основу частин.

По периметру бокової поверхні циліндра основи (верх) розташовані роликові амортизатори (34), блокуючи горизонтальні переміщення оболонки.

Для поліпшення перетворення енергії частина "оболонки 1" (верх) поверхнею (35) відокремлена від основного об'єму (може бути приєднана до робочої камери).

У подальших розрахунках припускається, що тиск у магістральному повітропроводі (29) практично не змінюється при коливаннях оболонки. Це допущення робиться на основі наступних міркувань: звичайно у морі спостерігаються нерегулярні хвилі з перемінними частотою, напрямком та амплітудою [1, С.308] і для великої кількості (декілька десятків) рознесених у просторі однотипних пристроїв виконується умова, коли вплив одного кристості компенсується дією іншого, який коливається у протифазі, а досить великий діаметр повітропроводу дозволить швидко перерозподілити масу повітря. Коли відсутні навантаження (турбіна не заважає руху повітря) припущення поширюється на "оболонку 1", яка з'єднана з магістральним повітропроводом.

Таким чином реакція оболонки на зовнішні зміни визначається  $P_a(x)$ .

X - положення оболонки по відношенню до точки рівноваги (позитивно при відхиленні оболонки угору);

$P_a(x)$  - реальна залежність тиску у робочій камері від X;

$P_B(x)$  - розрахункова залежність тиску у робочій камері від X;

$S_1$  - площа січення меншого циліндра (6) оболонки;

$S_2$  - площа січення більшого циліндра (7) оболонки;

Виконання умови, щоб залежність  $P_a(x)$ , по можливості, збігалася з  $P_B(x)$  досягається наступним чином.

Припустимо, що оболонка зміщується угору (X позитивно та зростає), тобто об'єм робочої камери зростає, а тиск повітря зменшується. Виберемо три точки  $X_1, X_2, X_3$  ( $X_1$  менше  $X_2, X_2$  менше  $X_3$ ). Цим точкам відповідають три значення тиску  $P_B(x_1), P_B(x_2), P_B(x_3)$ . На підставі дослідних даних (результати модельних випробувань; це стосується і значень  $T_1, T_2, T_3$ ) находимо  $V_1$  - такий об'єм повітря, для котрого виконується перехід з стану  $V_1, P_B(x_1), T_1$  у стан  $V_1 + C_1(X_2 - X_1), P_B(x_2), T_2$ . Аналогічно необхідно  $V_2$  (перехід із стану  $V_2, P_B(x_2), T_2$  у стан  $V_2 + C_1(X_3 - X_2), P_B(x_3), T_3$ ). Щоб з'єднати ці два відрізка, необхідно в  $X_2$  змінити об'єм робочої камери на

$$\Delta V = V_1 + C_1 \cdot (X_2 - X_1) - V_2 \quad (1)$$

Це досягається використанням елемента "ємкість 2", якщо точкою торкання обмежника (17) буде  $X_2$ , а об'єм ємкості у момент торкання дорівнює  $\Delta V$  (припускається, що при русі поршня до обмежника температура у ємкості змінюється аналогічно зміні температури у робочій камері).

Розділяючи діапазон змін величини  $X$  на необхідну кількість відрізків та використовуючи відповідну кількість елементів "ємкість 2" можливо відтворити залежність  $P_B(x)$  (у рамках можливості запропонованого способу). Покажемо це на конкретному прикладі.

Припустимо, що при відхиленні оболонки від положення рівноваги виконується умова

$$F_1 = -K \cdot X \quad (2)$$

$K$  - заданий коефіцієнт;

$F_1$  - сила, яка повертає оболонку у стан рівноваги;

$F_2$  - сила ваги шару води над оболонкою;

$P_0$  - тиск у робочій камері в стані рівноваги;

$\rho$  - густина води;

$g$  - прискорення сили ваги;

$\Delta F_2$  - зміна  $F_2$  при відхиленні оболонки на  $X$  (оболонка повністю занурена);

$$\Delta F_2 = -C_2 \cdot X \cdot \rho \cdot g \quad (3)$$

Зовнішні зміни компенсуються змінами тиску у робочій камері і повинні виконуватись співвідношення

$$\Delta P_B(x) \cdot C_1 = -K \cdot \Delta X - C_2 \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta X \quad (4)$$

після інтегрування

$$P_B(x) = P_0 - X \cdot \left( \frac{C_2}{C_1} \cdot \rho \cdot g + \frac{K}{C_1} \right) \quad (5)$$

Нехай  $C_1=140\text{м}^2$ ,  $C_2=180\text{м}^2$ ,  $P_0=10^5\text{н/м}^2$ ,  $X$  змінюється у діапазоні від мінус півтора метра до плюс півтора метра. Поділимо діапазон  $X$  на п'ять рівних відрізків.  $X_i$  - значення величини  $X$  для граничних точок;

$i$  - номер точки (зверху вниз);

$P_B(x_i)$  - значення функції (5) у точці  $X_i$  при відповідному  $K$ ;

Припустимо, що процес стиснення-розширення повітря у робочій камері у результаті відхилення оболонки можливо вважати адіабатичним, тобто вважаємо

$$P \cdot V^{1.4} = \text{const} \quad (6)$$

Для кожного відрізка знаходимо  $V_i$  з рівняння

$$V_i^{1.4} [P_B(x_i) + \delta_i] = [V_i + C_1 \cdot (x_{i-1} - x_i)]^{1.4} \cdot [P_B(x_{i-1}) + \delta_{i-1}] \quad (7)$$

$V_i$  - об'єм робочої камери в точці  $X_i$  після виключення елемента "ємкість2";

$\delta_i$  - імпірична поправка;

$\Delta V_i$  - об'єм і елемента "ємкість 2" у точці торкання  $X_i$ ;

$\Delta V_{oi}$  - об'єм і елемента "ємкість 2" в умовах рівноваги;

$V_o$  - об'єм робочої камери в умовах рівноваги;

$$\Delta V_i = V_{i+1} + C_1 \cdot (x_i - x_{i+1}) - V_i \quad (8)$$

$$\Delta V_{oi} = \Delta V_i \left[ \frac{P_B(x_i)}{P_0} \right]^{0.714} \quad (9)$$

$$V_o = V_3 \cdot \left[ \frac{P_B(x_3)}{P_0} \right]^{-0.714} \quad (10)$$

У таблиці 1 подані результати обчислень; на фіг.3 показана залежність:

$$A. \quad P_B(x) = (1 - 0.257 \cdot X) \cdot 10^5 \text{н/м}^2;$$

B. ii відтворення (складається з п'яти відрізків):

$$P_a(x) = \frac{P_B(x_i)}{\left[ 1 + \frac{C_1}{V_i} (x - x_i) \right]^{1.4}} \quad x_i \leq x \leq x_{i+1}$$

Дамо пояснення поданих результатів. В рамках обмовлених припущень залежність  $P_a(x)$  добре відтворює  $P_B(x)$ . Пристрій має мати чотири елемента "ємкість 2" з такими характеристиками (у точці рівноваги температура навколишнього середовища):

перший: об'єм  $167,2\text{м}^3$  (точка рівноваги);  $201,8\text{м}^3$  (точка торкання);

другий: відповідно  $190,7\text{м}^3$  та  $201,9\text{м}^3$ ;

третій: у стані рівноваги поршень притиснутий до обмежника, об'єм ємкості  $202,2\text{м}^3$ , тиск  $1,077 \cdot 10^5 \text{н/м}^2$ ;

четвертий: поршень притиснутий до обмежника, об'єм ємкості  $201,2 \text{ м}^3$ , тиск  $1,233 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ ;  
Об'єм робочої камери у точці рівноваги  $765,6 \text{ м}^3$ ;

Для того, щоб перевести пристрій у режим з  $K = 0,5 \cdot C_2 \cdot \rho \cdot g$  ( $0,333 \cdot C_2 \cdot \rho \cdot g$ ) необхідно:  
перший: накачати  $8,6 \text{ м}^3$  ( $11,9 \text{ м}^3$ ) повітря;  
другий: накачати  $2,2 \text{ м}^3$  ( $3,4 \text{ м}^3$ ) повітря;

третій: понизити тиск повітря до  $1,058 \cdot 10^5$  ( $1,051 \cdot 10^5$ );

четвертий: понизити тиск повітря до  $(1,174 \cdot 10^5)$  ( $1,154 \cdot 10^5$ )

Збільшити об'єм робочої камери до  $1018,2 \text{ м}^3$  ( $1144,4 \text{ м}^3$ ), тобто приєднати до неї елементи "ємкість 1" об'ємом  $252,6 \text{ м}^3$  ( $378,8 \text{ м}^3$ ).

У випадку, коли у робочій камері у точці рівноваги тиск дорівнює атмосферному, виконується умова:

$$F_2 + F_3 = (C_2 - C_1) \cdot (P_1 - P_{\text{атм.}}) \quad (11)$$

$F_3$  - вага оболонки;

$P_1$  - тиск у "оболонці 1" у стані рівноваги;

$P_{\text{атм.}}$  - атмосферний тиск;

Величина  $F_3$  залежна від багатьох параметрів: застосовуваного матеріалу, форми, вимогами міцності (пристрій може використовуватись при значних хвилюваннях, чи консервується вже при невеликому штормі), урахування експлуатаційних особливостей/ так нижня частина циліндричної поверхні (6) може бути полегшена тому, що основні навантаження приймають роликові амортизатори (34), котрі розташовані угорі; це необхідно зробити і тому, щоб зменшити втрати пов'язані з витісненням рідини при русі цього циліндру.

$P_1$  обраховується з формули (11).

$$\omega^2 = \frac{K}{M_1 + M_2 + M_3} \quad (12)$$

$M_1$  - маса оболонки;

$M_2$  - маса води над оболонкою;

$M_3$  - приєднана маса;

$\omega$  - власна частота коливальної системи;

При зміні середнього рівня рідини положення пристрою можливо корегувати. Для цього при зростанні (зменшенні) рівня потрібно збільшити (зменшити) об'єм "ємкості 3" на,  $\Delta a \cdot C_1$  компенсував зміну маси повітря у робочій камері через клапан (4) із атмосфери таким чином, щоб вона (маса) не змінилася.

$\Delta a$  - зміна середнього рівня рідини.

У випадку великого шторму оболонку можна опустити на основу та закріпити. Для цього до робочої камери приєднують усі елементи "ємкість 1", відкривають клапан (4) та повільно занурюють оболонку; на визначеній глибині клапан (4) закривають, елементи "ємкість 1" від'єднують і повітря із робочої камери перекачують у "ємкість 1" до досягнення потрібної глибини занурення. При підніманні - приєднують елементи "ємкість 1" до робочої камери, після первісного спливання докачують недостатнє повітря через клапан (4) з атмосфери.

Найближчим аналогом запропонованої установки служить установлена на дні пневмооболонка (2, С.138), але цей пристрій не вважається перспективним і тому доцільно провести порівняння з найбільш ефективним, наприклад, "качка" Солтера [1, С.314]. Для Атлантичного океана найбільш характерні (по концентрації енергії хвилі з періодом  $8 \div 13$  сек. (1, С.309-311). Для "качки" Солтера у цьому діапазоні спостерігається зниження ефективності [1, С.314]. Це пояснюється тим, що поверхневі перетворювачі мають амплітуду коливань сумірну з амплітудою хвилювання. Для запропонованого пристрою (співвідношення 12 та 2) настройка на меншу  $\omega$  потребує меншого К, тобто для однакового зусилля (амплітуда хвилювання) потрібно більше відхилення, щоб його зрівноважити: оболонка "устигає" за більший інтервал часу опуститися (та спливати) на більшу глибину. Це збільшення амплітуди коливання, а також більш мала швидкість руху оболонки (втрати на тертя) дозволяє пристрою бути ефективним у даному діапазоні частот.

Подано числові оцінки. Для оболонки у формі кульового сегмента ( $H=5\text{м}$ ,  $R=8,23\text{м}$ ), котрий у верхній точці торкається водної поверхні  $F_2 = 3,884 \cdot 10^6 \text{ н}$ ,  $M_2 = 3,963 \cdot 10^5 \text{ кг}$  (при  $\rho = 1,03 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $C_2 = 180 \text{ м}^2$ ). Оцінив  $F_2 + F_3 \approx 4,6 \cdot 10^6 \text{ н}$  ( $M_1 \approx 0,731 \cdot 10^5 \text{ кг}$ ) при  $C_1=140 \text{ м}^2$ ,  $P_1 = 215 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ . Із (11).

Допустимо, що при русі  $M_1 + M_2 + M_3 \approx 1,4 \cdot 10^6 \text{ кг}$  /  $M_3$  більше у два рази  $M_1 + M_2$ , тоді для  $\omega = 0,698 \text{ сек}$ .  $K = 0,682 \cdot 10^6 \text{ кг/сек}^2$  (12).

Із співвідношення (2), прийняв  $F_1 = A \cdot C_2 \cdot \rho \cdot g$  ( $A$  - амплітуда хвилі)

$$\frac{X}{A} = \frac{18 \cdot 10^6}{0,682 \cdot 10^6} = 2,64$$

маємо:

тобто, навіть при несприятливих оцінках маємо добрий результат (відхилення оболонки у два рази

перевищує амплітуду хвилі).

Крім очікуваної високої ефективності, елемент установки обладнає такими перевагами:

1. Практично занурений у воду (зменшено вплив вітру та хвиль).
2. Є точковим (не залежить від напрямку хвилі).
3. Традиційне перетворення енергії (повітряна турбіна розміщується у нерухомій захищеній основі).
4. Відносно просто та зручно виготовити (конструкцію можна виготовити із традиційних матеріалів (сталь, бетон) на верфі та відбуксирувати на місце експлуатації).
5. Відносно просто консервувати (у випадку великого шторму оболонку можна опустити на основу та закріпити).
6. Є концентратором енергії (хвиля діє на усю площу ( $C_2$ ) оболонки, а стиснення "робочого газу" відбувається у частині ( $C_2-C_1$ ) оболонки, тому "відклик" на зовнішню зміну тиску у  $C_2$  ( $C_2-C_1$  більший).

На фіг.1 показан окремий елемент хвильової енергетичної установки, подовжній розріз;

На фіг.2 показана уся енергетична установка, вид зверху;

У таблиці 1 приводяться дані розрахунків конкретного приклада відображення теоретичної залежності  $P_B(x)$  залежності  $P_A(x)$  (зміна тиску у робочій камері);

На фіг.3 графічно показано: А. теоретична залежність  $P_B(x)$ ;

В. фактична (передбачувана) залежність  $P_A(x)$ .

Оцінка січення повітропроводу робилася по формулі [1, С.379]

$$P_1^2 - P_2^2 = 64 \cdot \xi \cdot R \cdot T \cdot m^2 \cdot (X_2 - X_1) / \pi^2 \cdot M \cdot D^5 \quad (13)$$

$\pi$  - константа 3,14;

$m$  - масовий розхід;

$\xi$  - коефіцієнт опору;

$R$  - універсальна газова стала;

$T$  - абсолютна температура;

$M$  - грам-молекулярна маса/1000 ;

$D$  - діаметр повітропроводу;

$P_1, P_2$  - тиск повітря у точках  $X_1$  та  $X_2$  відповідно;

$X_1, X_2$  - відстань між точками  $X_1$  та  $X_2$  ;

Розрахунки показують, що реально достатньо застосовувати труби діаметром побіля 1,5м.

Оцінка втрат на тертя, пов'язаних з коливаннями оболонки робилася по формулі [3, стор.123]:

$$N = S \cdot \omega^2 \cdot A^2 \cdot \sqrt{0,125 \cdot \omega \cdot \rho \cdot \eta} \quad (14)$$

$\rho$  - густина води;

$\eta$  - в'язкість води;

$S$  - площа поверхні, яка рухається;

$\omega$  - частота коливання оболонки;

$A$  - амплітуда коливання оболонки;

$N$  - середня потужність втрат на тертя;

Розрахунки показують, що втрати на тертя незначні ;

У розрахунках (табл. 1) припускається, що у елементах "ємність 2" при русі поршня не допускається перетікання повітря з підпоршневого простору у робочу камеру, але пристрій працездатний і у режимі

(підбираються значення  $\Delta V_{oi}$ , коли таке перетікання можливо, якщо воно відбувається повільно та виявляється оборотним (положення рівноваги поршня не змінюється). У нашому випадку це здійснимо, тому що різниця тисків у робочій камері та у підпоршневому просторі при русі поршня невелика та знакозмінна, а коли вона (різниця) дорівнює нулю, поршень займає певне стійке положення (зміщення поршня приводить до зміни глибини занурення штока у рідину (15), тобто змінюється виштовхуюча сила, діюча з боку рідини на систему поршень-шток-куля, рівновага порушується, а результуюча сила направлена так, щоб повернути систему до стану рівноваги); для переміщення поршня у нове положення рівноваги необхідно перекачати частину рідини з резервуару (розміщується на поршні; на фіг.1 не показано), змінив тим самим вагу системи поршень-шток-куля.

У середині основи (1) можливо застосовувати рідину з більш підходящими параметрами (густина, в'язкість, впливом на мікроорганізми), наприклад: концентрований розчин солі.

Показано, що "компенсатор" (31) створюється для кожного елемента (це робить працю кожного елемента більш незалежною: відключення кількох елементів суттєво не відбувається на праці установки), але економічно зробити загальний "компенсатор".

Корпус оболонки можна теплоізулювати, щоб процес стиснення повітря при коливаннях менш залежав від середовища.

Реальна залежність  $P_B(x)$  повинна зважати на такі фактори, як, що оболонка виступає над поверхнею води при зміщенні уверх від положення рівноваги; що сума  $M_2+M_3$  - змінна величина; що треба погоджувати  $P_B(x)$  з кривою зміни тиску у "оболонці" при перетворенні енергії і так далі. Тому, доцільно, закладати у управляючу програму дослідні дані (одержані при модельних випробуваннях).

Хвильова енергетична установка працює таким чином (на прикладі одного пристрою): при коливаннях повітряної оболонки окремого елемента (оболонка уперед налагоджена на таку власну частоту коливань, при

котрої її рух буде оптимальний для даного хвилювання) відбувається стиснення (розширення) повітря у "оболонці" і при його видавлюванні через турбіну у магістральний повітропровід здійснюється перетворення енергії.

Література:

1. Дж. Твайделл, Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат. 1990. - С.392.:ил.
2. Коробков В.А. Преобразование энергии океана. -Л.: Судостроение. 1986. - С.280. ил. (Техника освоения океана).
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика, т.6. Гидродинамика. М.: Наука. 1986. - С.736.

Таблица 1.

Хвильова енергетична установка

i	X м	$K \cdot 1817 \cdot 10^3 \text{ кг/сек}^2$	$P_B(x_i) 10^4 \text{ н/м}^2$	$\delta_i \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$	$V_i \text{ м}^3$	$\Delta V_i \text{ м}^3$	$\Delta V_{oi} \text{ м}^3$
0	1,5	1 0,5 0,333	6,143 7,107 7,429	0,05 0,03 0,01			
1	0,9	1 0,5 0,333	7,686 8,264 8,457	0,05 0,03 0,01	487,8 741,4 866,9	201,8 201,5 201,9	167,2 175,8 179,1
2	0,3	1 0,5 0,333	9,229 9,421 9,486	0,05 0,03 0,01	605,6 858,9 984,8	201,9 201,3 201,6	190,7 192,9 194,1
3	-0,3	1 0,5 0,333	10,771 10,579 10,514	0,05 0,03 0,01	723,5 976,2 1102,4	202,2 203,0 200,8	
4	-0,9	1 0,5 0,333	12,314 11,736 11,543	0,05 0,03 0,01	841,7 1095,2 1219,2	201,2 200,9 202,4	
5	-1,5	1 0,5 0,333	13,857 12,893 12,571	0,05 0,03 0,01	958,9 1212,1 1337,6		
	0	1 0,5 0,333	10,000			$V_o \text{ м}^3$ 765,6 1018,2 1144,4	

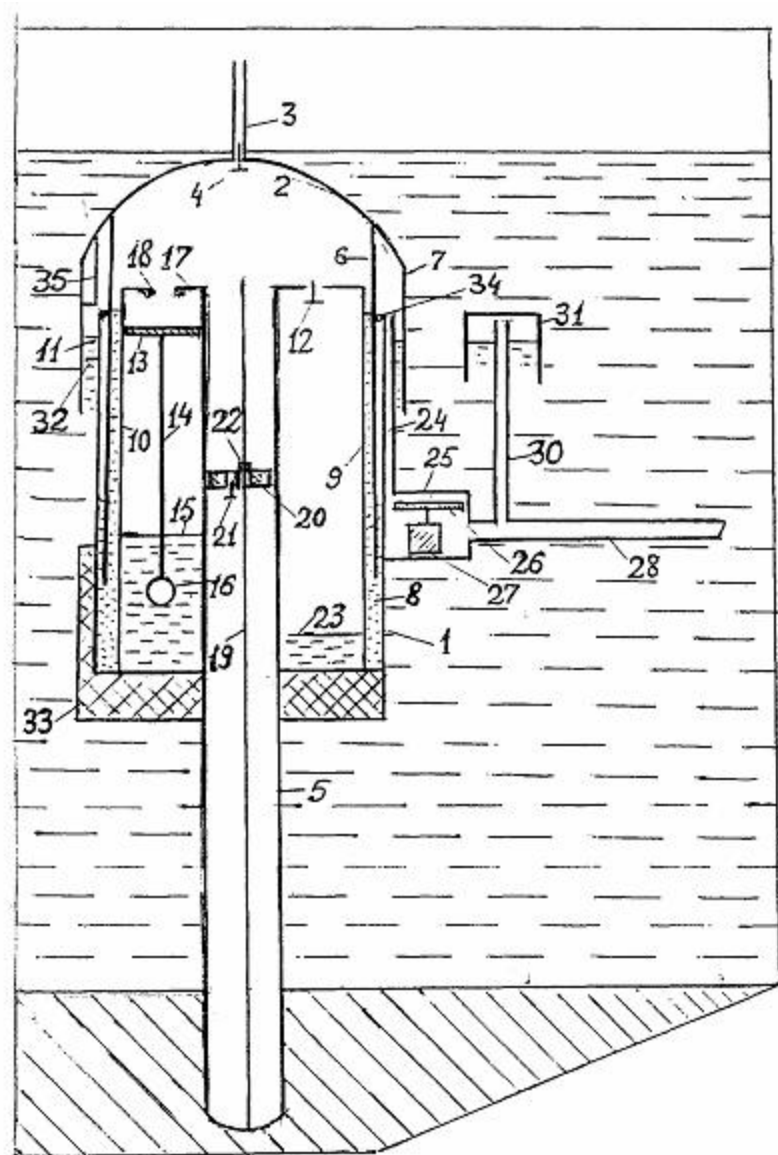


Fig. 1

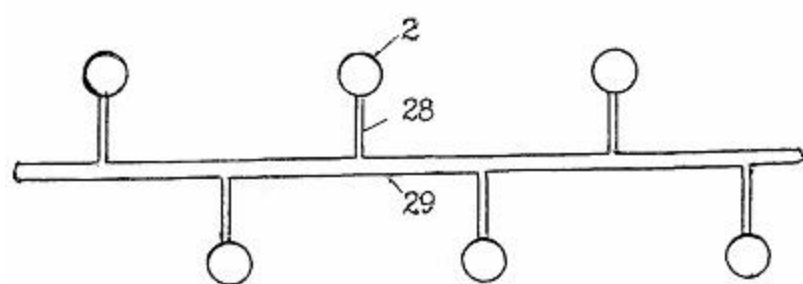
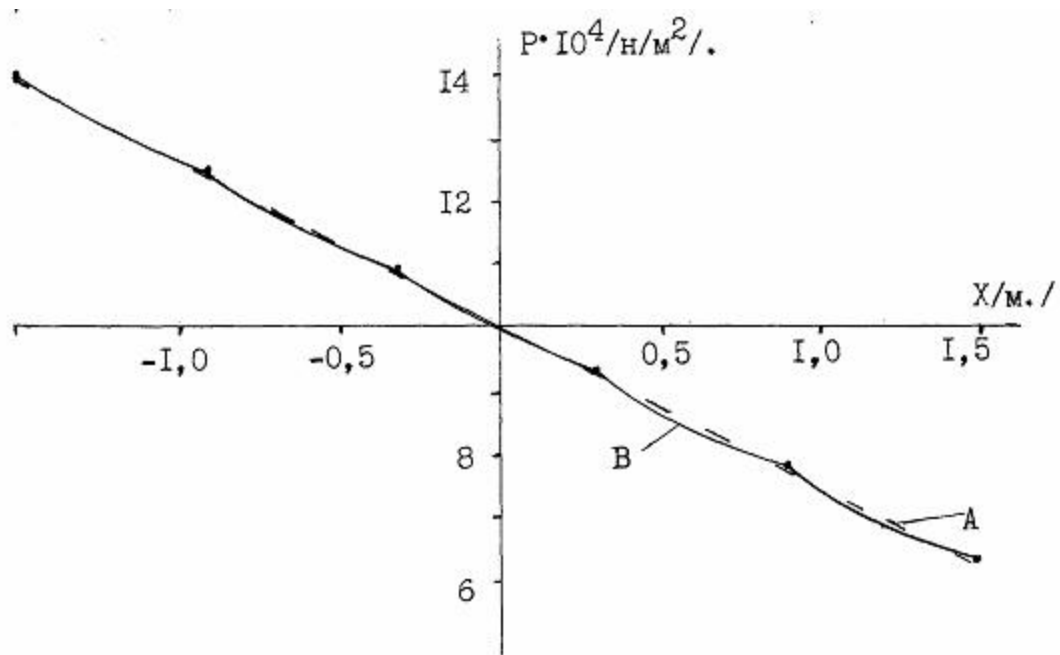


Fig. 2



Фиг. 3