

ДО ПИТАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРІЇ І РОЗРАХУНКУ ІНЖЕКТОРА

Короткий зміст

У роботі доводиться, що стан пояснення в літературі процесу в інжекторі незадовільний. Встановлюються закони фізики, яким підлягає процес в інжекторі, і на підставі цих законів дається пояснення явищ, що відбуваються в інжекторі. Подається графічна і аналітична характеристика цього процесу. Виводяться нові формули для розрахунку інжектора.

До питання інтерпретації процесу в інжекторі

Наведемо основні положення, з яких в літературних джерелах виходять при поясненні фізики процесу в інжекторі.

1. Допускають, що швидкість струменя в найменшому перерізі напірного сопла інжектора є найбільшою.

2. Тиск у найменшому перерізі напірного сопла приймають найменший: рівний або менший від одиниці.

3. Допускають, що тиск струменя в частині напірного сопла, яка розширюється, зростає від одної атмосфери до тиску в котлі.

З цих положень виходять Грасгоф та інші автори, що дають розрахунки інжектора.

Є також літературні джерела, де процес в інжекторі пояснюють так: «Дія інжектора ґрунтується на перетворенні теплової енергії пари, що виділяється при перетворенні пари на воду, в енергію руху, яка й примушує суміш пари і води надходити в котел» (див. В. Рышков — «Паровозные инжекторы железных дорог СССР»).

Розглянемо схему сучасної конструкції інжектора (фіг. 1).

Інжектор складається з таких частин:

- | | | |
|---------------------------------|---|------|
| 1. Всмоктуюче сопло | — | I |
| 2. Парове сопло | — | II |
| 3. Конденсаційне сопло | — | III |
| 4. Сигнальний клапан | — | IV |
| 5. Напірне сопло | — | V |
| 6. Живильний клапан | — | VI |
| 7. Вихід води в котел | — | VII |
| 8. Підведення води до інжектора | — | VIII |
| 9. Корпус інжектора | — | IX |
| 10. Напірна камера | — | X. |

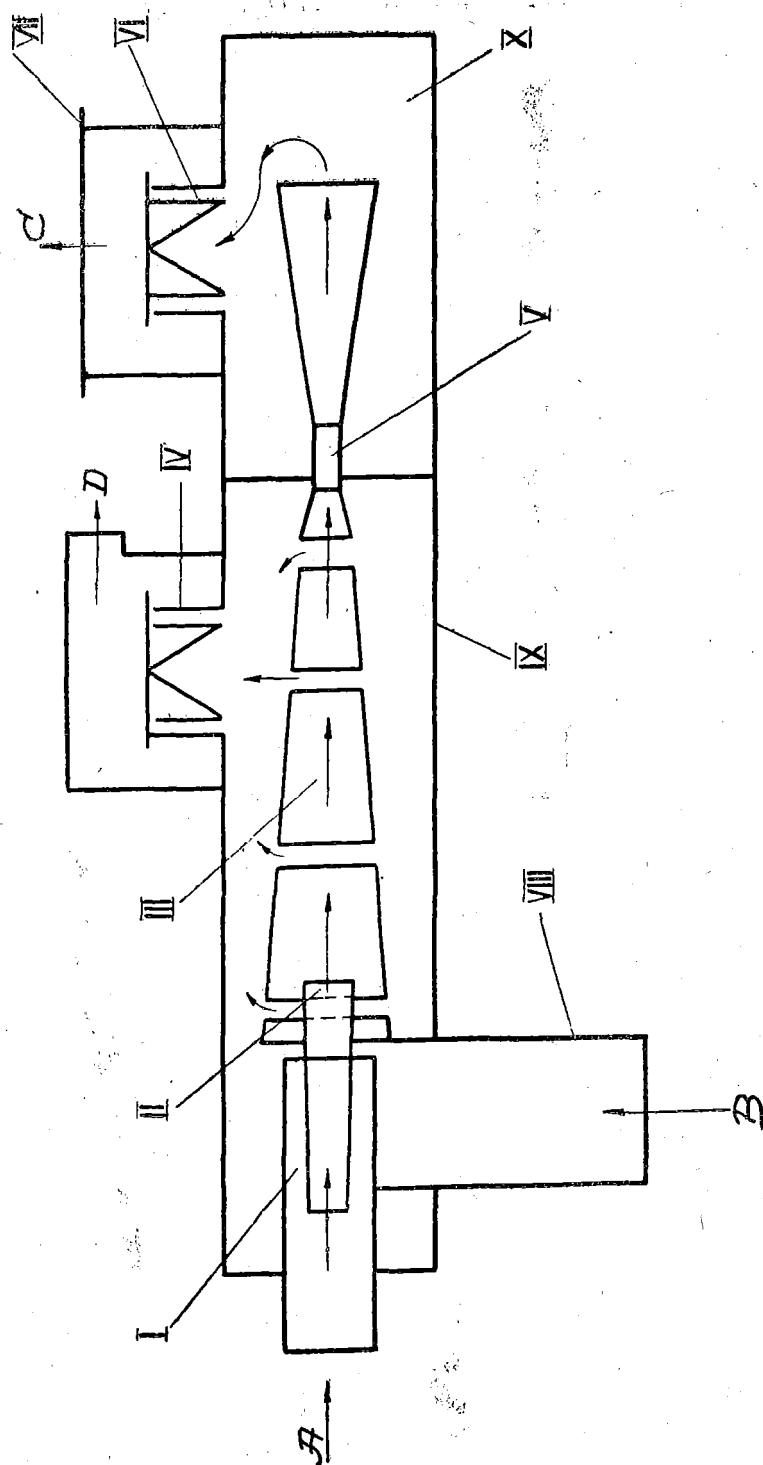


Рис. 1.

Розглянемо процес, який відбувається в інжекторі.

З труби, яка підводить до інжектора пару (стрілка А), вона надходить у всмоктуюче сопло (І) і виходить з останнього через конденсаційне сопло та сигнальний клапан в атмосферу, причому пара захоплює повітря з конденсаційного сопла, викидаючи його в атмосферу. На місце видаленого повітря із всмоктуючої труби (VIII) в конденсаційне сопло надходить вода. Доступ пари в інжектор влаштовано так, що після надходження пари у всмоктуюче сопло вона паралельно входить у парове сопло. Потужний струмінь пари, що виходить з парового сопла, захоплює воду, передаючи їй свою кінетичну енергію, причому маса пари переходить з пароподібного в рідкий стан, тобто пара конденсується; коли на початку конденсаційного сопла тече пара і вода, то на кінці його витікає вода; конденсації пари сприяє форма конденсаційного сопла (воно конічно сходиться).

На одній осі з паровим і конденсаційним соплами розташоване напірне сопло; струмінь води, який виходить з конденсаційного сопла, проходить у напірне сопло, заповнюючи його і весь простір, розташований перед живильним клапаном.

Після заповнення зазначеного простору струмінь зустрічає лобовий опір на початку напірного сопла, внаслідок чого виникає стиснення води у вищезгаданому просторі.

Площа найменшого перерізу напірного сопла розрахована так, що потрібне тиснення для піднімання живильного клапана, викликане імпульсом струменя, який насувається, поширившись на зазначений переріз води, настане за законом Паскаля в усій напірній камері і підніме живильний клапан. Піднятий живильний клапан дає вихід воді в котел.

Швидкість води, яка підходить до найменшого перерізу напірного сопла, розрахована так, що після переходу частини кількості руху в тиснення, у цьому перерізі струмінь тече із швидкістю, яка забезпечує подавання через живильний клапан потрібної кількості води.

Таким чином, у найменшому перерізі напірного сопла інжектора тиснення рідини збільшується за рахунок зменшення швидкості: в найменшому перерізі струмінь рухається повільніше, ніж перед цим перерізом. Після найменшого перерізу зазначеного сопла, в бік руху струменя, швидкість струменя продовжує сповільнюватися внаслідок конічного розтруба сопла в зазначеному напрямі, що викликає ще деяке збільшення тиснення, яке компенсує втрати в напірній камері інжектора.

Графічне зображення зміни швидкості і тиснення струменя в інжекторі

На фіг. 2 подано: схему конструкції інжектора (1), графік зміни швидкості пари, яка виходить з парового сопла (3), графік зміни швидкості води в інжекторі (4) і графік зміни тиснення в інжекторі (5).

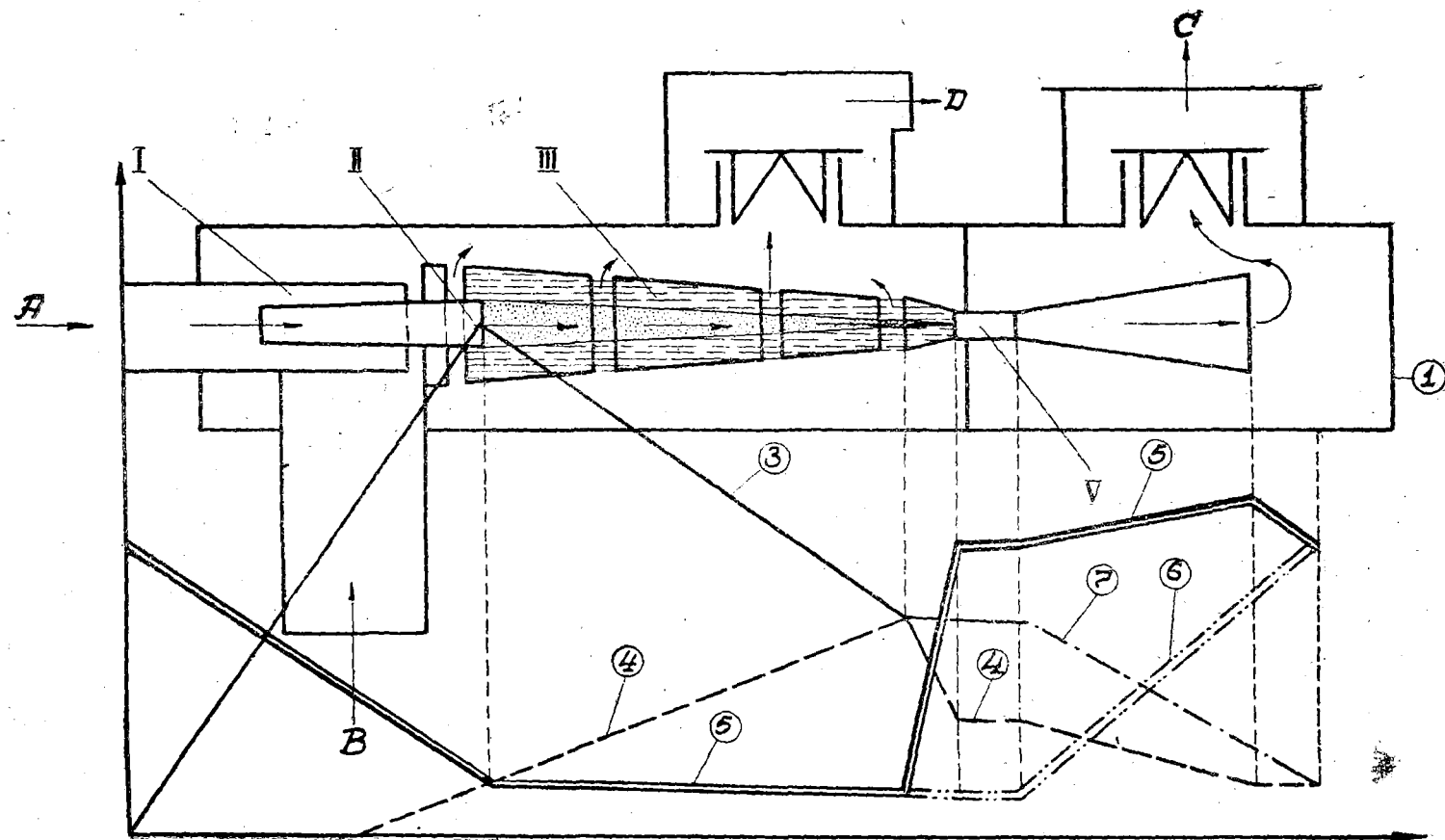


Рис. 2.

Аналітична характеристика процесу в інжекторі

З викладеного видно, що розрахунок інжектора зводиться насамперед до підрахування потрібної швидкості струменя та потрібного найменшого перерізу напірного сопла інжектора.

Зазначені дві величини при заданій кількості секундної витрати води, яку інжектор повинен подавати, є основними при розрахунках та конструюванні інжектора; правильно розраховані ці величини забезпечують безвідказність дії інжектора як автомата.

Процес в інжекторі базується в основному на двох відомих законах фізики: 1) на законі кількості руху і 2) на законі Паскаля. Обидва ці закони діють одночасно під час роботи інжектора.

Так, імпульс сили струменя в найменшому перерізі напірного сопла, що виник внаслідок різниці кількості руху в цьому перерізі, викликає в напірній камері інжектора явище, яке підлягає законові Паскаля.

Швидкість струменя, який підходить до найменшого перерізу напірного сопла, визначаємо за таким рівнянням закону кількості руху:

$$M_1 C_1 + M_2 C_2 = (M_1 + M_2) V_1. \quad (1)$$

де M_1 — маса пари, що протікає в інжектор за секунду, M_2 — те ж саме води, C_1 — швидкість пари, що виходить з парового сопла інжектора, C_2 — швидкість води на початку конденсаційного сопла, V_1 — швидкість струменя, який підходить до найменшого перерізу напірного сопла.

З рівняння (1) визначаємо:

$$V_1 = \frac{M_1 C_1 + M_2 C_2}{M_1 + M_2}. \quad (2)$$

З рівняння (2) визначається так звана можлива швидкість, яка в основному обумовлюється швидкістю пари і кількістю пари та води.

Швидкість струменя пари визначиться за таким рівнянням:

$$C_1 = \sqrt{2g \frac{t_1 - t_2}{A}} \quad (3)$$

де t_1 — тепловміст пари при вході в парове сопло інжектора, а t_2 — тепловміст пари при виході з парового сопла. $A = \frac{1}{427}$; $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$.

Таким чином, при заданій кількості витрати води, відомих параметрів пари і початкової швидкості води, формули (2) і (3) дають можливість визначити швидкість струменя, який підходить до найменшого перерізу напірного сопла інжектора.

Визначення швидкості струменя в найменшому перерізі напірного сопла інжектора

У зазначеному перерізі імпульс сили набігаючого струменя виразиться таким рівнянням різниці кількості руху маси на початку і наприкінці певного відрізка часу:

$$(MV)_{x1} - (MV)_{x0} = \Sigma \int_{t_0}^{t_1} x dt \quad (4)$$

де $(MV)_{x1}$ — проекція кількості руху на відповідний напрям у кінці, а $(MV)_{x0}$ — те ж саме на початку, x — проекція на той же самий напрям кінцевої діючої сили, dt — відповідний відрізок часу.

Наведемо інтегрування рівняння (4).

Кінцева діюча сила дорівнює тисненню пари в котлі і спрямована протилежно рухові струменя. Початкова кількість руху в нашому випадку дорівнює MV_1 , а кінцева MV_2 , де V_2 — швидкість струменя в найменшому перерізі напірного сопла інжектора; імпульс струменя поширюється на площу найменшого перерізу f напірного сопла.

Отже, після інтегрування рівняння (4) матиме вигляд:

$$MV_1 - MV_2 = x t \quad (5)$$

Рівняння (5) дає можливість визначити швидкість V_2 , а звідси й потрібну площу найменшого перерізу напірного сопла інжектора.

Для розв'язання рівняння (5) виразимо масу, яка протікає через найменший переріз напірного сопла, в такому вигляді:

$$M = f \frac{V_2 \gamma_2}{g} \quad (6)$$

де γ_2 — питома вага струменя, що протікає через найменший переріз.

Силу x як тиснення пари в котлі, що поширюється на площу f , виразимо так:

$$x = p f 10^4 \quad (7)$$

де p — тиснення пари в котлі в кг/см^2 .

Після підставлення значень (6) і (7) рівняння (5) набере такого вигляду:

$$V_2^2 - V_2 V_1 + p f 10^4 \frac{\gamma_2}{g} = 0 \quad (8)$$

Таке значення рівняння (8) здобує після відрізка часу $t=1$.

Із рівняння (8) визначимо швидкість струменя, що протікає в найменшому перерізі сопла інжектора:

$$V_2 = \frac{V_1 \pm \sqrt{V_1^2 - 4 p f \gamma_2 10^4}}{2}$$

Це рівняння має два корені. Як показує аналіз, обидва корені будуть позитивні і матимуть дійсні значення. Для того, щоб корені були дійсні, потрібно, аби мала місце така залежність між швидкістю V_1 та виразом $\sqrt{4p^g/\gamma_2} 10^4$

$$V_1 \geq \sqrt{4p^g/\gamma_2} 10^4 \quad (10)$$

Таким чином, рівняння (10) дає можливість визначити так звану мінімально-необхідну швидкість струменя, що підходить до найменшого перерізу напірного сопла інжектора.

Для безвідказної роботи інжектора потрібно, щоб швидкість V_1 , підрахована за рівнянням (3), була більша або дорівнювала швидкості V_1 , знайдений за рівнянням (10), тобто для того, щоб інжектор працював, потрібне здійснення такої математичної залежності:

$$\frac{M_1 C_1 + M_2 C_2}{M_1 + M_2} \geq \sqrt{4p^g/\gamma_2} 10^4. \quad (11)$$

Визначення витрати води і пари

Для безвідказної роботи інжектора співвідношення води і пари, що надходять в інжектор, повинне перебувати в певних межах. Напишемо рівняння, з якого визначимо кількість води, яку здатний подати в котел один кілограм пари. Зазначена кількість води буде функцією температури води, яка надходить в інжектор, і швидкості струменя після повної конденсації пари; ця кількість води буде також залежати від якості й кількості пари, яка надходить в інжектор.

Отже, зазначена кількість води визначається з теплового балансу струменя після повної конденсації пари при входженні струменя в напірне сопло.

Тепловий баланс струменя в зазначеному стані виразиться таким рівнянням:

$$J_b(t_2 - t_1) + t_2 + (J_b + 1) \frac{v_1^2}{2g} A = i_1 \quad (12)$$

де J_b — вага води, що припадає на один кілограм пари. Як видно з рівняння (12), тепловий баланс струменя в зазначеному перерізі складається з таких частин:

- 1) Тепло, одержане водою з пари — $J_b(t_2 - t_1)$
- 2) Тепло конденсату пари — $t_2 = q$
- 3) Тепло, еквівалентне кінетичній енергії струменя після повної конденсації пари — $(J_b + 1) \frac{v_1^2}{2g} A$
- 4) Тепло, внесене в інжектор одним кілограмом пари — i_1 . (Як по-

казують підрахунки, втрату на охолодження можна не враховувати, бо вона становить на один кілограм пари менше однієї калорії).

Таким чином, кількість води, що припадає на один кілограм пари, дорівнюватиме:

$$J_b = \frac{t_1 - t_2 - \frac{v_1^2}{2g} A}{t_2 - t_1 + \frac{v_1^2}{2g} A} \quad (13)$$

Визначення секундної кількості води, яка входить в інжектор

При заданій годинній кількості пари D , яка витрачається з котла (не виключаючи витрати пари на інжектор), секундна кількість води, що надходить в інжектор, визначиться за таким рівнянням:

$$J_{c.b.} = \frac{D}{3600} \quad (14)$$

Секундна кількість пари, що надходить в інжектор, залежатиме від кількості пари, яку виробляє котел за годину, і кількості води, яка припадає на один кілограм пари (спроможність одноко кг пари); вона визначиться з такого рівняння:

$$J_{c.n} = \frac{D}{J_b 3600} \quad (15)$$

Враховуючи, що кількість води, яка протікає за секунду через поперечний (найменший) переріз напірного сопла, дорівнюватиме сумі секундної кількості конденсату пари, що надходить в інжектор, та секундної кількості води, яка надходить в інжектор, тобто

$$J_{c.b.n.} = J_{c.n} + J_{c.b} \quad (16)$$

Таким чином, кількість води, яка протікає через найменший переріз напірного сопла інжектора дорівнюватиме:

$$J_{c.b.n.} = \frac{D}{3600} \left[\frac{t_2 - t_1 + \frac{v_1^2}{2g} A}{t_1 - t_2 - \frac{v_1^2}{2g} A} + 1 \right] \quad (17)$$

З викладеного видно, що безвідказність роботи інжектора при відповідних параметрах пари та води залежатиме:

1. Від діаметра найменшого перерізу парового сопла інжектора.
2. Від діаметра найменшого перерізу напірного сопла інжектора.

Ці величини можуть бути правильно розраховані тільки при умові, коли будуть правильно розраховані, по-перше, швидкості струменя V_1 і V_2 , які визначаються за формулами (2), (3), (9), (10) і, по-друге, вагові співвідношення пари і води — формули (13), (15), (17).

Визначення найменшого діаметра поперечного перерізу напірного і парового сопла інжектора

Визначення секундної витрати води через найменший переріз напірного сопла одержимо з такої загальної формули:

$$J_{c.v.n} = j_2 V_2 \gamma_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} V_2 \gamma_2 \quad (18)$$

звідки діаметр найменшого перерізу напірного сопла дорівнюватиме:

$$d_2 = \sqrt{\frac{J_{c.v.n}}{\pi V_2 \gamma_2}} \quad (19)$$

де γ_2 — питома вага струменя після конденсації пари.

Найменший діаметр парового сопла визначається за аналогічною формулою:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 J_{c.n}}{\pi c \gamma}} \quad (20)$$

де c і γ — швидкість і питома вага пари, що відповідають найменшому діаметрові парового сопла.

Висновки

В межах «Наукових записок» немає можливості зупинитися на повному розрахункові інжектора, а, крім того, мета цієї роботи полягає у встановленні основних наукових положень, на яких базується процес в інжекторі, бо таких відомостей у літературі в даний час немає.

Як видно з викладеного, допущення, які приймаються в літературі при розрахункові інжектора, а також при поясненні процесу в інжекторі, не мають місця в інжекторі.

Пояснення процесу в інжекторі, дане Ришковим і наведене нами на початку цієї роботи, явно необгрунтоване. Необгрунтованість цю видно з того, що, як відомо, при конденсації тепло, що виділяється, передається від пари до води, причому перетворення тепла на механічну енергію руху в цей час не відбувається.

Як видно з викладеного:

1. У найменшому перерізі напірного сопла швидкість струменя не є

максимальною, а дорівнює половині максимальної швидкості струменя який підходить до напірного сопла.

2. Тиснення в найменшому перерізі напірного сопла не дорівнює одній атмосфері, а дорівнює тисненню пари в котлі.

3. У тій частині напірного сопла, що розширяється, тиснення зростає не від однієї атмосфери, а від тиснення, яке дорівнює тисненню пари в котлі.

Наведені основні положення, що пояснюють процес в інжекторі, доведені автором теоретично. Автор провів також експериментальну перевірку зазначених положень і дістав цілковите підтвердження своїх теоретичних досліджень. Згадані дослідження були опубліковані в збірнику анотацій науково-дослідних робіт вузів ВКВШ, випуск 1.

Проведено також перевірку виведених формул шляхом розрахунку відповідних конструкцій інжекторів, причому одержано цілковиту відповідність розмірів.

На фіг. 2 лінії 6 і 7 показують тлумачення процесу в інжекторі, наявне в даний час у літературі, причому лінія 7 виражає зміну швидкості струменя в напірному соплі, а лінія 6 — зміну тиснення в тому ж самому соплі.