

ОБГРУНТУВАННЯ РІВНЯННЯ ПОТОКУ РІДИНИ В ОБ'ЄДНАНІЙ ГІДРАВЛІЧНІЙ СИСТЕМІ ТРАКТОРІВ КЛАСУ 30 кН

П. М. Ярошенко, к.т.н., Сумський національний аграрний університет

В статті розглянуто питання обґрунтування рівняння потоку рідини в об'єднаній гідравлічній системі колісних тракторів загального призначення та орно-просапних класу 30 кН.

Ключові слова – гідравлічна система, диференційні рівняння, тиск рідини, питомі витрати, гідростатичний напір, гідродинаміка, турбулентний та ламінарний рух рідини.

Постановка проблеми. Складовими об'єднаної гідравлічної системи сучасного трактора класу 30 кН є гідроциліндри, гідробак, гідравлічні з'єднання високого тиску, насос для оливи, гідророзподільник і гідравлічний рульовий механізм, який, в свою чергу складається із гідрокерма і пріоритетного клапана. Об'єднана гідросистема живиться від одного гідравлічного насоса і маючи пріоритетний клапан, який в свою чергу розподіляє оливу між споживачами, завжди перевагу віддає гідрооб'ємному рульовому керуванню.

Механічна частина системи керування включає колонку і рульове колесо. Призначення вузла керування (гідроруля) – забезпечити подачу оливи до гідроциліндрів, а надлишки повернути в бак для оливи. Рульовий механізм складається із розподільного блоку, планетарного редуктора і гідромотора зворотної дії. Механізм забезпечує пропорційно повороту рульового колеса подачу оливи у відповідні порожнини гідроциліндрів і запирання її в гідроциліндрах за відсутності керуючих дій механізатора.

Всю цю доволі складну гідравлічну конструкцію необхідно описати рівняннями руху рідини, які б базувалися на основних положеннях гідравліки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанням дослідження гідроприводів присвячена велика кількість публікацій [2,3,4,5,6], проте в даних роботах вирішувались в основному задачі їх конструктивного удосконалення і практично не розглядались питання технічного стану рідини та її характеристики. Так Гаминін Н.С. [3] вирішував задачу технічного удосконалення гідравлічних приводів систем керування як наземними транспортними засобами, так і літальними апаратами, не торкаючись практично стану рідин.

Інші автори Ловкіс З.Г. і Кальбус Г.Л. [4,5] в своїх роботах розглядали гідроприводи сільськогосподарських машин, але те ж не займалися математичним описуванням потоків рідин, що знаходились в середині гідравлічних механізмів. Фізичний стан рідини вони приймали як постійний, не вдаючись до параметрів технічного стану рідини під час роботи.

Ряд інших дослідників [6] при описуванні систем керування сільськогосподарських енергетичних засобів не вказували стан рідини, не торкались питань перетікання рідини як в механізмах

так і між ними. Розглядаючи питання чутливості гідроприводу вони акцентували увагу на розробленні конструкцій двоконтурних регульованих об'ємних приводів із мотор-дозаторами без механічних передач між рульовою колонкою та механізмом повороту керованих коліс підвищеної чутливості, а не на рідинах, що знаходяться в даних вузлах.

Однак вивчення працездатності об'єднаних гідравлічних систем неможливе без визначення параметрів рідини та швидкості її перетікання між складовими гідроприводу.

Формулювання цілей статті. Проаналізувавши стан публікацій було зроблено висновок про те, що питаннями написання рівнянь потоків рідини в гідросистемах сільськогосподарських тракторів практично мало хто опікувався. В основному, дослідники використовували дані і розробки, що визначали стан рідини як постійний, без витоків і ушкоджень в середині гідравлічних систем. При цьому дослідження базувались на схемах і агрегатах з роздільними гідравлічними приводами. В зв'язку з цим, метою даної статті є теоретичне обґрунтування рівняння потоку рідини в об'єднаній гідравлічній системі енергонасичених тракторів типу ХТЗ-120/121 та ХТЗ-160/161, що виконують роботи у складі сільськогосподарських машинних агрегатів.

Виклад основного матеріалу. Сучасна гідравліка є технічною наукою про закони рівноваги і руху рідин і про способи застосування цих законів до рішення практичних завдань. Вона складається з двох частин: гідростатики і гідродинаміки.

Гідростатикою називається розділ гідравліки, в якому розглядаються закони рівноваги рідин і дотичних до них твердих тіл, а також практичні додатки цих законів. У гідростатиці розглядаються рідини в стані відносного спокою, тобто стані при якому відсутній рух окремих часток рідини один відносно одного. Таким чином, в якості об'ємних сил окрім сил тяжіння є присутніми сили інерції переносного руху.

Одними із основних співвідношень гідростатики є диференційні рівняння рівноваги (рівняння Ейлера) [1]:

$$\begin{aligned} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= 0 \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

тут X , Y і Z - алгебраїчні суми проекцій на осі координат прискорення сили тяжіння і прискорення сили інерції переносного руху, ρ - щільність рідини, p - гідростатичний тиск в точці рідини.

Диференційні рівняння рівноваги (1) можна замінити одним рівнянням. Для цього, необхідно помножити кожне з рівнянь відповідно на dx , dy і dz відповідно, і скласти:

$$Xdx + Ydy + Zdz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) = 0 \quad (2)$$

Оскільки вираз в дужках є повним диференціалом гідростатичного тиску

$$dp = \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \quad (3)$$

можемо записати:

$$dp = \rho (Xdx + Ydy + Zdz) \quad (4)$$

За відсутності переносного руху, або при рівномірному переносному русі, прискорення сил інерції відсутні. Тоді доцільно направити вісь вертикально вгору. Таким чином:

$$\begin{aligned} X &= 0 \\ Y &= 0 \\ Z &= -g \end{aligned} \quad (5)$$

В цьому випадку, рівняння (4) набере вигляду:

$$dp = -\rho g dz \quad (6)$$

Якщо використати вираз для питомої ваги рідини $\gamma = \rho g$, то це ж рівняння можна записати таким чином:

$$dp = -\gamma dz \quad (7)$$

або

$$d\left(z + \frac{p}{\gamma}\right) = 0 \quad (8)$$

В результаті інтегрування рівняння (8) отримаємо:

$$z + \frac{p}{\gamma} = \text{const} \quad (9)$$

Рівняння (9) справедливе для будь-яких точок одного і того ж об'єму однорідної крапельної рідини.

Якщо розглядати дві частинки рідини з координатами z_1 і z_2 , то для них рівняння (9) може бути записане в наступному вигляді:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \quad (10)$$

Рівняння (10) називають основним рівнянням гідростатики. Сенс його зводиться до того, що в одному і тому ж об'ємі рідини, що знаходиться в стані спокою, усі частинки розташовані

на одній і тій же горизонтальній площині мають один і той же гідростатичний тиск.

Величину

$$H_{hs} = z + \frac{p}{\gamma} \quad (11)$$

називають гідростатичним напором.

Гідростатичний напір одночасно є питомою потенційною енергією в даній точці. При цьому геометричний напір z є питомою енергією положення, а п'єзометричний напір p / γ – питомою енергією тиску.

Гідродинамікою називається розділ гідравліки, в якому розглядаються закони руху рідин і взаємодія між рідинами і дотичних до них твердими тілами, а також практичні додатки цих законів. У гідродинаміці, як правило, використовують підхід Ейлера, який полягає у вивченні поля швидкостей досліджуваного об'єму рідини. Змінними Ейлера називають проекції вектору швидкості в точці на координатні осі. Значення цих змінних залежать від координат і від часу:

$$\begin{aligned} u_x &= u_x(x, y, z, t) \\ u_y &= u_y(x, y, z, t) \\ u_z &= u_z(x, y, z, t) \end{aligned} \quad (12)$$

Основною задачею гідродинаміки є знаходження значень тиску і проекцій швидкостей в кожній точці досліджуваного об'єму рідини. Її вирішують за допомогою диференціальних рівнянь руху Ейлера, яким є диференціальні рівняння рівноваги (1) з урахуванням сил інерції:

$$\begin{aligned} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{du_x}{dt} \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{du_y}{dt} \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{du_z}{dt} \end{aligned} \quad (13)$$

Тут сили інерції записуються як добуток щільності на відповідні похідні від швидкості за часом. Повні похідні від кожної з проекцій швидкості за часом записуються так:

$$\begin{aligned} \frac{du_x}{dt} &= \frac{\partial u_x}{\partial t} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \frac{dz}{dt} \\ \frac{du_y}{dt} &= \frac{\partial u_y}{\partial t} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_y}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \frac{dz}{dt} \\ \frac{du_z}{dt} &= \frac{\partial u_z}{\partial t} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \frac{dz}{dt} \end{aligned} \quad (14)$$

Враховуючи те, що $u_x = dx / dt$, $u_y = dy / dt$ і

$u_z = dz / dt$:

$$\begin{aligned} \frac{du_x}{dt} &= \frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \\ \frac{du_y}{dt} &= \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} \\ \frac{du_z}{dt} &= \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{aligned} \quad (15)$$

З урахуванням залежностей (15) можна представити диференційні рівняння рівноваги в розгорнутому вигляді:

$$\begin{aligned} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial u_x}{\partial t} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \frac{dz}{dt} \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{\partial u_y}{\partial t} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_y}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \frac{dz}{dt} \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{\partial u_z}{\partial t} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \frac{dz}{dt} \end{aligned} \quad (16)$$

Для відшукування чотирьох невідомих (тиску і проекцій швидкостей) недостатньо трьох рівнянь. Повну систему диференціальних рівнянь руху рідини складають рівняння Ейлера у формі (13) або (16) і рівняння нерозривності (щільності руху).

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (17)$$

Всі приведені вище рівняння були виведені для, так званої, ідеальної (нев'язкою) рідини і справедливі для того класу завдань, де можна нехтувати реальною в'язкістю рідини. Для ситуацій, коли неврахування в'язкості є занадто істотним спрощенням, використовують рівняння Нав'є-Стокса:

$$\begin{aligned} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial u_x}{\partial t} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \frac{dz}{dt} - \\ &\quad - \nu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{\partial u_y}{\partial t} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_y}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \frac{dz}{dt} - \\ &\quad - \nu \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right) \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{\partial u_z}{\partial t} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \frac{dz}{dt} - \\ &\quad - \nu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

тут ν – кінематична в'язкість рідини.

Якщо використати диференціальний оператор Лагранжа

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (19)$$

то рівняння (18) можна записати в згорнутому вигляді:

$$\begin{aligned} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{du_x}{dt} - \nu \Delta u_x \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{du_y}{dt} - \nu \Delta u_y \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{du_z}{dt} - \nu \Delta u_z \end{aligned} \quad (20)$$

В'язкість істотним чином впливає на характер руху рідини. Розрізняють два характерні режими руху: ламінарний і турбулентний. Режим руху, при якому рідина рухається шарами, без перемішування, називають ламінарним. Другий режим, при якому відбувається перемішування часточок рідини, називають турбулентним. У ламінарному режимі переважає вплив сил в'язкості рідини, а в турбулентному – інерційних сил. Аналітично, режим руху визначають за допомогою

числа Рейнольдса:

$$\begin{aligned} Re_d &= \frac{Vd}{\nu} \\ Re_R &= \frac{VR}{\nu} \end{aligned} \quad (21)$$

де Re_d – число Рейнольдса, віднесене до діаметра; Re_R – число Рейнольдса, віднесене до гідравлічного радіусу.

Існує набір критичних значень числа Рейнольдса (залежних від граничних умов), які і визначають режим руху. Якщо розрахункове значення числа Рейнольдса менше за критичне, то режим руху рідини вважають ламінарним, і навпаки, якщо розрахункове значення більше за критичне, то вважають, що рідина рухається турбулентно.

Турбулентний рух відноситься до нестало-го типу руху. Для математичного опису такого роду руху вводиться опосередкована швидкість руху рідини в точці, що дозволяє вважати рух квазістаціонарним. Рівняння Нав'є-Стокса, що адаптовані для турбулентного руху і які використовують проекції опосередкованої швидкості руху на осі координат, називають рівняннями Рейнольдса [2].

Виконуючи перетворення, схожі з приведеними в рівняннях (4)-(7), із рівнянь Ейлера отримують диференціальне рівняння, інтеграція якого дає рівняння Бернуллі. Для ідеальної рідини воно виглядатиме таким чином:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = const \quad (22)$$

Для двох положень однієї частинки рідини (або для двох різних частинок рідини одного об'єму, що знаходяться на одній лінії витоку) це рівняння прийме такий вигляд:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} \quad (23)$$

Для реальної (тобто в'язкої рідини) рівняння Бернуллі записується так:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h_W \quad (24)$$

тут h_W – втрати напору пов'язані з опором.

Величина

$$H_{hd} = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \quad (25)$$

називається гідродинамічним напором рідини. Доданки, що входять у вираз гідродинамічного напору – це геометричний і п'єзометричний напори, які входять і у вираз для гідростатичного напору, а також швидкісний напір $u^2/2g$.

Рівняння Бернуллі, як правило, використовують разом з рівнянням нерозривності (17). Для усталеного руху це рівняння може бути записане так:

$$Q = const \quad (26)$$

або

$$Q_1 = Q_2 \quad (27)$$

тут Q - витрата потоку.

Під витратою мають на увазі об'єм рідини, що проходить через живий переріз потоку. Живий переріз це, у свою чергу, поверхня в межах потоку рідини, нормальна в кожній своїй точці до вектору опосередкованої швидкості (у точці). Частина периметру живого перерізу, де рідина стикається із стінками русла, називають змоченим периметром. Відношення площі живого перерізу ω до довжини змоченого периметра χ називають гідралічним радіусом:

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (28)$$

Витрата потоку визначається як інтеграл від елементарних витрат по поверхні живого перерізу:

$$Q = \int_{\omega} dQ = \int_{\omega} u d\omega \quad (29)$$

Часто рух потоку характеризують за допомогою середньої швидкості потоку. Середньою швидкістю потоку називають таку швидкість u , при якій витрата визначається по формулі:

$$Q = v\omega \quad (30)$$

Отже, середню швидкість можна визначити, через вираження потоку (29)

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{\int u d\omega}{\omega} \quad (31)$$

Рівняння Бернуллі для середньої швидкості потоку виглядає таким чином:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_W \quad (32)$$

тут α - коефіцієнт кінетичної енергії, тобто відношення дійсної кінетичної енергії, підрахова-

ної по місцевих швидкостях, до кінетичної енергії, підрахованої по середній швидкості.

При витіканні рідини з резервуару під дією атмосферного тиску на поверхню рідини витрата потоку, при малому отворі, обчислюється за допомогою наступного співвідношення:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gz} \quad (33)$$

тут μ - коефіцієнт витрати (таблична величина, що залежить від розміру отвору, тиску, температури рідини і т.п.).

При перетіканні рідини з резервуару в резервуар, при різниці тисків в резервуарах δp без урахування геометричного тиску (коли ним можна знехтувати), витрата потоку обчислюється так:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2\frac{\delta p}{\rho}} \quad (34)$$

У деяких ситуаціях, коли виконується перетворення енергії потоку в механічну енергію необхідно використати відповідні підходи, що враховують подібні перетворення. У таких випадках часто використовується питома потенційна енергія частинки потоку, яка має значення рівне гідродинамічному тиску.

Висновки. В статті було розглянуто теоретичне обґрунтування рівняння потоку рідини в об'єднаній гідралічній системі енергонасичених тракторів. Отримана теоретична залежність показує зв'язок таких параметрів як коефіцієнт витрат, площі живого перерізу потоку, різниці гідростатичного тиску і щільності рідини. Отримане рівняння витрати потоку технічних рідин можна використовувати при розрахунках як в об'єднаних так і автономних гідросистемах тракторів, автомобілів та сільськогосподарських машин.

Список використаної літератури:

1. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика: справочное пособие / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.
2. Лебедев А. Т. Гидропневматические приводы тракторных агрегатов / А. Т. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1982. – 184 с.
3. Гамынин Н. С. Гидравлический привод систем управления / Н. С. Гамынин. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с.
4. Ловкис З. Г. Гидроприводы сельскохозяйственных машин / З. Г. Ловкис. – Минск: Урожай, 1986. – 216 с.
5. Кальбус Г. Л. Гидропривод и навесные устройства тракторов: В вопросах и ответах / Г. Л. Кальбус. – К.: Урожай, 1982. – 200 с.
6. Системи керування сільськогосподарських енергетичних засобів / [М. І. Самокиш, І. М. Бендеда, М. М. Клевцов, А. М. Божок] // За ред. М. І. Самокиша, М. М. Клевцова. – К.: Урожай, 1999. – 304 с.

Ярошенко П. Н. Обоснование уравнения потока жидкости в объединенной гидравлической системе тракторов класса 30 кН

В статье рассмотрен вопрос обоснования уравнения потока жидкости в объединенной гидравлической системе колесных тракторов общего назначения и пахотно-пропашных класса 30 кН.

Ключевые слова- гидравлическая система, дифференциальные уравнения, давление жидкости, удельные расходы, гидростатический напор, гидродинамика, турбулентное и ламинария движение жидкости.

Yaroshenko P. Ground equalization of stream liquid is incorporated to hydraulic system tractors class 30 кН

The constituents of the incorporated hydraulic system of modern tractor of class of 30 кН are hydro cylinders, hydraulic reservoir, hydraulic connections of high-pressure, pump for an olive, hydro distributor and hydraulic steering gear that, in turn consists of hydro wheel and priority valve. Incorporated hydrosystem feeds from one hydraulic pump and having a priority valve that in turn distributes an olive between consumers, always gives advantage to the hydro volumetric steering management.

Analyzing the state of publications was drawn conclusion that by the questions of writing of equalizations of streams liquid in hydrosystems of agricultural tractors not many took care practically. Mainly, researchers used data and developments that determined the state of liquid as permanent, without sources and damages in middle the hydraulic systems. Researches were based thus on charts and aggregates with separate hydraulic occasions. In this connection, the aim of this article is a theoretical ground of equalization of stream of liquid in the incorporated hydraulic system of the energy saturated tractors as KTP-120/121 and KTP-160/161, that produce works in composition agricultural machine aggregates.

In this article on the base of basic correlations of hydrostatics - differential equalizations of equilibrium (equalizations of Euler), ignoring the real viscosity of liquid and using equalizations of Nave-Stocks, with the help of differential operator Lagrange and leaning on equalization of Bernoulli for an ideal liquid equalization of expense of stream was got in the incorporated hydraulic system of the energy saturated tractors.

Viscosity influences substantial character on character of motion of liquid. Distinguish two characteristic modes of motion: laminar and turbulent. The mode of motion, at that a liquid moves layers, without interfusion, is named laminar. The second mode there is interfusion of particles of liquid at that is named turbulent. Influence of forces of viscosity of liquid prevails in the mode of laminar, and in turbulent - inertia forces. Analytically, the mode of motion is determined by means of number of Reynolds.

There is a set of critical values numbers of Reynolds (dependency upon maximum terms), that determine the mode of motion. If calculation value of number of Reynolds less than critical, then the mode of motion of liquid is considered laminar, and viceversa, if calculation value anymore, then consider critical, that a liquid moves turbulent.

Turbulent motion behaves to the unset type of motion. For mathematical description such of motion the mediated rate of movement of liquid is entered in a point, which allows considering motion kvasistationary. Equalizations of Nave-Stocks, that is adapted for turbulent motion and that use the projections of the mediated rate of movement on wasp of coordinates, name equalizations of Reynolds.

Executing transformations alike with resulted in equalizations, from equalizations of Euler get differential equalization integration of that gives equalization of Bernoulli.

They got theoretical dependence shows the association of such parameters as coefficient of charges, area of living cut of stream, difference of hydrostatical pressure and closeness of liquid. They got equalization of expense of stream of technical liquids can be used for calculations as in incorporated so autonomous hydrosystems of tractors, cars and agricultural machines.

Keywords – are the hydraulic system, differential equalizations, and pressure of liquid, specific charges, hydrostatical pressure, hydrodynamics, turbulent and laminar motion of liquid.

Дата надходження до редакції: 02.03.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Ревенко І.І.