November - in the current period, there are deposits Play (Zakarpattia region), Zhytomyr, Dnipropetrovsk and Zaporizhia regions, that is, compared with 1961-1990 and 1991-2000 the number of regions with deposits decreased;

December - at present compared to previous periods 1991-2000 and 2001-2010 increased incidence of such deposits in Playa meteorological station, as well as in Crimea (foothills), but in other regions they observed.

In the Sumy region for all the studied periods (over 55 years) was not observed any cases of spontaneous ice deposits.

Often during all periods (1961-1990, 1991-2000, 2001-2010, 2011-2015) Deposits of natural ice observed in nature Playu, Dar'yivtsi, Kirovograd, Chaplin Mariupol Lyubashivtsi, separately, Mykolayiv, Niznix Searogozax, Behterah, dangerous. As the number of cases of OHSS category ice deposits in 1961-1990 highlights the meteorological station - Krasnograd, Darivka, Kirovograd and Dolinsky, Hubiniha, Komisarivka, Volnovakha, Mariupol, Debaltseve, Play, Rosdilna, Serbka, Lyubashevka, Bashtanka, Ochakov, Askania Nova, Behtery, Ai-Petri during the 1991-2015 biennium. The highest incidence of spontaneous ice deposits were - Play, Shepetivka, Kamenka Bbugska, New Ushytsya, Darivka, Debaltsevo, Mariupol, Lyubashevka.

Keywords: ice deposits, ice machine, ice deposition natural, nature climate vunerable areas of ice deposits spontaneous.

Пясецкая С. И. **Отложения гололеда категории СГЯ (стихийные) на территории Украины с середины XX века до начала XXI векав (1961-1990, 1991-2015 pp.)** В статье отображено состояние распространения обложений гололеда стихийного характера (категория СГЯ) на территории Украины на протяжении 55 лет по отдельным периодам начиная с 1961-1990 гг., отдельным десятилетиям 1991-2000, 2001-2010 и последнему пятилетию 2011-2015 гг. Показано особенности распространения таких обложений по отдельным областям Украины учитывая отдельные месяцы. Установлены отличия в их распространении по отдельным периодам и показаны современные тенденции.

Ключевые слова: гололед, гололедный станок, отложения гололеда стихийного характера, климатоуязвимые районы от обложений гололеда стихийного характера.

Надійшла до редколегії 18.11.2016

УДК 551.509

Онищук В. В.
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СИСТЕМИ РІВНЯНЬ НАВ'Є–СТОКСА ДЛЯ ОЦІНКИ ДИНАМІЧНОЇ РІВНОВАГИ СИСТЕМИ «ЦИКЛОН-АНТИЦИКЛОН»

Ключові слова: динамічна система «циклон–антициклон», динамічна рівновага системи, рівняння Нав'є-Стокса, солісоїдальна траєкторія, вертикальні і горизонтальні деформації структурних елементів.

Актуальність проблеми. На сьогоднішній день математичне моделювання синоптичної циркуляції є досить складним і недостатньо точним. Складність цих рішень у першу чергу пов'язана з некоректністю системи рівнянь, що не дає можливість прослідкувати динаміку синоптичних структур на найвищому рівні самоорганізації, саморегулювання і фазових змін. Ця складна відкрита динамічна система має бути стабілізована. Для цього пропонується спеціальне рівняння, яке призводить систему рівнянь Нав'є-Стокса до умов автомодельності опору у протидії внутрішнім і зовнішнім силам. Іншими словами, систему «циклон – антициклон» необхідно занурити у квантовість. Квантовість пов'язана з процесом вирівнювання ентропії між елементами системи. Цей стан системи буде відповідати динамічній рівновазі. Ця процедура реалізується за допомогою збереження стабільності нейтральної зони між елементами системи. Дана зона формується під впливом градієнту атмосферного тиску між двома якісно відмінними за енергетичним потенціалом структурними елементами синоптичної циркуляції. Управління такими структурами має важливе практичне значення, оскільки їх періодична взаємодія може значно порушувати кліматичні умови в ряді локальних територій планети, зокрема у межах України.

Аналіз попередніх досліджень. Нині не існує аналітичного розв'язку замкненої системи рівнянь Нав'є–Стокса для коректного рішення задач синоптичної циркуляції, які могли б бути використані в багатьох суміжних областях знань про навколишній матеріальний світ. Ці рівняння уже відомі майже 200 років, які пройшли широке випробування при вирішенні багатьох задач з ламінарним режимом течії, але знаходяться за зоною досяжності для турбулентного потоку ньютонівської рідини та газу при високих числах Рейнольдса [1-3]. Головна пробле-ма успішного розв'язування цих рівнянь залежить не так від кількості до них додаткових, а в більшій мірі від самого підходу щодо стабілізації рівня турбулент-ності у межах прояву властивості самоорганізації системи «циклон-анти-циклон». На даний час існують рішення системи рівнянь Нав'є–Стокса для ряду задач гідроаеродинаміки [4, 5].

Методика досліджень. Динамічна рівновага будь-якої системи пов'язана з обмеженням впливу від інших систем, оскільки це дає можливість досягти мінімуму дисипації енергії (максимуму ентропії – належного структурного поряд-ку в системі). При розгляді рівнянь руху субстанції Нав'є–Стокса належить розве-сти дію силових факторів на їх інди-відуальний рівень функціонування зі збереженням динамічної рівноваги систе-ми та їх послідовну оцінку за умовами виконання конкретної задачі. З методичної точки зору це можна досягти шляхом стабілізації режиму турбулентності субстрату (субстанції) за допомогою додаткового (прототипного) рівняння і шляхом їх сумісного розв'язування покрокове виокремлення агентів збурен-ня, цебто зміни гідродинамічного тиску і обумовлені ним зміни форм деформації суцільного середовища. Цей підхід, який можна назвати «замороженою» турбулентністю належить використовував-ти як для самих елементів досліджуваної системи, так і для їх пригpаничних зон (в інших системах це буде придонна область або пристінний шар).

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленої задачі рекоменду-ється наступна замкнена система рівнянь:

$$* \ \frac{\partial \vec{\upsilon}}{\partial t} = -(\vec{\upsilon} \cdot \nabla)\vec{\upsilon} + \nu \Delta \vec{\upsilon} - \frac{1}{\rho'} \nabla p + \left(\varsigma + \frac{\nu}{3} \right) \delta_i \nabla div \vec{\upsilon} + \varsigma_\kappa \delta_{YZ} 2 m div \omega_\kappa \upsilon_n \ ; \tag{1}$$

$$* \ \frac{\partial \vec{\upsilon}}{\partial t} = \nu \Delta \vec{\upsilon} - \frac{1}{\rho'} \nabla p + \nabla \vec{\upsilon}' ; \tag{2}$$

$$* \ \frac{\partial \vec{\upsilon}'}{\partial t} = -(\vec{\upsilon}' \cdot \nabla)\vec{\upsilon}' + \nu \Delta \vec{\upsilon}' - \frac{1}{\rho'} \nabla p + \left(\varsigma + \frac{\nu}{2} \right) \delta_{i.\Delta} \nabla div P \ ; \tag{3}$$

$$* \ \frac{\partial \vec{\upsilon}'}{\partial t} = -(\vec{\upsilon}' \cdot \nabla)\vec{\upsilon}' - \frac{1}{\rho'} \nabla P ; \tag{4}$$

$$* \ \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial a}{\partial t} + \frac{\partial b}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_{б.п}}{\partial t} ; \tag{5}$$

$$* \ \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} \ ; \tag{6}$$

$$* \ \frac{\partial Q}{\partial t} = 9.85 r^2 I_0^{0,5} \lambda_3^{-0.5} \frac{\partial r^{0,5}}{\partial t} ; \tag{7}$$

$$* \ \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g I_n \frac{\partial \upsilon}{\partial t} \ ; \tag{8}$$

$$* \ \frac{\partial {\delta_x}^{0,5}}{\partial t} = \Delta a \frac{\partial r^2}{dt} ; \tag{9}$$

$$* \ \frac{\partial {\delta_y}^{1,5}}{\partial t} = \Delta \mathrm{b} \frac{\partial r^2}{dt} ; \tag{10}$$

$$* \ \frac{\partial {\delta_z}^{2}}{\partial t} = \Delta h \frac{\partial r^2}{dt} ; \tag{11}$$

$$* \ \frac{\partial \delta_{YZ}}{\partial t} = \Delta S_{c.x} \frac{\partial r}{\partial t} \ ; \tag{12}$$

$$* \ \frac{\partial \omega^{0,5}}{\partial t} = \Delta a , \tag{13}$$

де ∇ - оператор Гамільтона; Δ - оператор Лапласа; $\rho' = \rho(1 - s) + \rho_s s$, де ρ' – віртуальна щільність атмосферного повітря, кг/м^3; s – наявність твердих частинок (концентрація домішок); ρ – щільність атмосферного повітря; ρ_s– середня щільність фракцій завислих у повітрі частинок; p - тиск атмосферного повітря, кгс/м^2; v - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м^2/с; ζ - «друга» (об'ємна) в'язкість потоку субстрату в результаті його стискання, кг/м·с; $\zeta_к$ - «друга» (об'ємна) в'язкість потоку субстрату в результаті його стискання силою Кориоліса, кг/м·с; P – тиск субстрату всередині елемента системи на поверхню приграничної зони, кгс/м^2; δ_i – переміщення субстрату в координатах x, y і z; m – маса планети, кг; $\upsilon_п$ – середня швидкість обертання планети навколо своєї осі, м/с; $\omega_к$- кутова швидкість обертаючої системи відліку при обертанні планети навколо своєї осі, м/с; δ_{YZ} - величина переміщення субстрату в площині YZ, м; $\delta_{i\Delta}$ - величина переміщення субстрату у приграничній зоні в координатах x, y і z, м; a – початкова ширина структур в координаті x; b - початкова ширина структур в координаті y; h - початкова висота структур в координаті z; r – приведений радіус елемента системи, м; I_0 - поздовжній похил структури до горизонту; $I_п$ - поперечний похил елементів системи; λ - коефіцієнт тертя субстрату навколишнього середовища навколо елементів системи; Δr - прирощення радіусу циклону, м; g – прискорення сили земного тяжіння, м^2/с; $\omega_{сер}$ – середня площа поперечного перерізу елемента системи, м^2; Q – транзитна витрата субстрату в елементах системи при їх русі, м$^{3/}$/с; Δa - величина зміни елемента системи в координаті x; Δb – величина зміни елемента системи в координаті y; Δh – величина зміни елемента системи в координаті z; $q_{б.п.і}$ - витрата припливу атмосферного повітря в об'єм циклону в координатах x, y і z;, м$^{3/}$с;: υ – середня швидкість зміщення елементів системи одного відносно другого, м/с.

В аналіз розв'язування рівнянь Нав'є-Стокса [1-3] до теперішнього часу входило коректне рішення задачі Коші, оскільки можливість стійкого рішення у значній мірі залежить від рівня турбулентності пові-тряних мас при великих значеннях критерію Рейнольдса. Наведені вище рівняння складають замкнену систему для умов взаємодії циклона з антициклоном: рівняння (1) описує рух елементів системи «циклон – антициклон» по дикартових координатах x, y і z; рівняння (2) стосу-ється стабілізації режиму турбулентності субстрату в тілі елементів системи по координатах x, y і z; рівняння (3) оцінює рівень турбулентності субстрату у пригра-ничній зоні елементів системи в площині YZ; рівняння (4) стосується стабілізації режиму тиску у приграничній зоні; рівняння (5) характеризує деформації структур – баланс субстрату в тілі елементів системи; рівняння (6) характеризує поздовжню стійкість елементів системи у горизонтальній площині; рівняння (7) відповідає дина-мічній рівновазі системи «циклон – анти-циклон»; рівняння (8) визначає поперечну стійкість структур системи у вертикальній площині до горизонту; рівняння (9) відповідає переміщенню субстрату в елементах системи в координаті x при досягненні системою динамічної рівно-ваги; рівняння (10) відповідає перемі-щенню субстрату в елементах системи в координаті y; рівняння (11) відповідає переміщенню субстрату в елементах системи в координаті z; рівняння (12) стосується збереження співвісності елементів системи одного відносно друго-го у горизонтальній площині (оцінює опосередковано загальну стійкість елементів системи).

При урахуванні поздовжньої сили стискання структур системи «циклон – антициклон» від дії градієнту тиску атмосферного повітря рівняння (1) приймає наступний вигляд [2]:

$$* \ \rho'\left(\frac{\partial\upsilon_x}{\partial t}\right) = -\rho'\left(\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x} + \upsilon_y\frac{\partial\upsilon_x}{\partial y} + \upsilon_z\frac{\partial\upsilon_x}{\partial z}\right) - \frac{\partial p_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x} + \frac{\partial\upsilon_y}{\partial x} - \frac{2}{3}\delta_x\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}\right)\right] + \rho'\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\zeta + \frac{\mu}{3}\right)\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right]; \qquad (14)$$

$$* \ \rho'\left(\frac{\partial\upsilon_y}{\partial t}\right) = -\rho'\left(\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_y}{\partial x} + \upsilon_y\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y} + \upsilon_z\frac{\partial\upsilon_y}{\partial z}\right) - \frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y} + \frac{\partial\upsilon_z}{\partial y} - \frac{2}{3}\delta_y\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}\right)\right] + \rho'\frac{\partial}{\partial y}\left[\left(\zeta + \frac{\mu}{3}\right)\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}\delta_y + \rho'\zeta_к\delta_{YZ}2m\frac{\partial\omega_к\upsilon_п}{\partial y}\right]; \qquad (15)$$

$$* \ \rho\left(\frac{\partial\upsilon_z}{\partial t}\right) = -\rho\left(\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_z}{\partial x} + \upsilon_y\frac{\partial\upsilon_z}{\partial y} + \upsilon_z\frac{\partial\upsilon_x}{\partial z}\right) - \frac{\partial p_z}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z} + \frac{\partial\upsilon_x}{\partial z} - \frac{2}{3}\delta_z\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}\right)\right] + \rho\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\zeta + \frac{\mu}{3}\right)\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right] + \rho\zeta_к\delta_{YZ}2m\frac{\partial\omega_к\upsilon_п}{\partial z}, \qquad (16)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, кг/м·с.

Таким чином, маємо три рівняння руху субстрату в елементах системи для умов транспортування твердих домішок всередині елементів системи та розвитку явища просторового переміщення синоптичних структур (зміщення у гори-зонтальній площині елементів системи одного відносно другого).

У розкритому вигляді рівняння (2) має наступний вигляд:

$$*\rho'\left(\frac{\partial\upsilon_x}{\partial t}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}+\frac{\partial\upsilon_y}{\partial x}-\frac{2}{3}\delta_x\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial p_x}{\partial x}+\rho\frac{\partial U'_x}{\partial x}; \quad (17)$$

$$*\rho'\left(\frac{\partial\upsilon_y}{\partial t}\right)=\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}+\frac{\partial\upsilon_z}{\partial y}-\frac{2}{3}\delta_y\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}\right)\right]-\frac{\partial p_y}{\partial y}+\rho\frac{\partial U'_y}{\partial y}; \quad (18)$$

$$*\rho'\left(\frac{\partial\upsilon_z}{\partial t}\right)=\frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}+\frac{\partial\upsilon_x}{\partial z}-\frac{2}{3}\delta_z\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}\right)\right]-\frac{\partial p_z}{\partial z}+\rho\frac{\partial U'_z}{\partial z}. \quad (19)$$

Маємо три рівняння стабілізації режиму турбулентності субстрату елемен-тів системи для тривимірного простору.

Дальше виконуємо сумісний розгляд шістьох отриманих рівнянь (14-19) шляхом їх послідовних підстановок. Після підстановки рівнянь (14-16) у рівняння (17-19) отримуємо наступні три рівняння, які відповідають стабільному станові динамічної системи «циклон - антициклон», тобто зберігаються умови автомодельності опору структур до дії зовнішніх сил при зміні значень критеріїв Рейнольдса, Фруда, Вебера і Томсона.

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_x}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)=0; \quad (20)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_y}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_y}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}\delta_y\right)-\zeta_к\delta_{YZ}2m\frac{\partial\omega_к\upsilon_n}{\partial y}=0; \quad (21)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_z}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_z}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right)-\zeta_к\delta_{YZ}2m\frac{\partial\omega_к\upsilon_n}{\partial z}=0. \quad (22)$$

Отримані рівняння (19-21) являють собою однорідну стаціонарну систему руху субстрату. Розв'язок системи рівнянь (6,7,20-22) дає можливість оцінити рівень поздовж-ньої стійкості системі «циклон – антициклон**».** Розв'язок системи рівнянь (5-6,20-22) дає можливість оцінити інтен-сивність розвитку явища просторового змішення структур. Розв'язок рівнянь (5-8,20–22) дає можливість виконати оцінку форми структур при досягненні ними динамічної рівноваги.

Розв'язок системи рівнянь (3 і 4) у розкритому вигляді дає можливість виконати оцінку інтенсивності швидкості пульсації субстрату та його тиску у приграничній зоні.

Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки загальної стійкості системи «циклон – антициклон». Для вирішення поставленої задачі відібрано наступних п'ять рівнянь:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_x}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)=0; \quad (23)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_y}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_y}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}\delta_y\right)-\zeta_к\delta_{YZ}2m\frac{\partial\omega_к\upsilon_n}{\partial y}=0; \quad (24)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_z}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_z}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right)-\zeta_к\delta_{YZ}2m\frac{\partial\omega_к\upsilon_n}{\partial z}=0. \quad (25)$$

$$*\ \frac{\partial\omega}{\partial t}=\rho' g I_0\frac{\partial Q}{\partial t}; \quad (26)$$

$$*\ \frac{\partial Q}{\partial t}=9.85r^2 I_0^{0,5}\lambda_3^{-0.5}\frac{\partial r^{0,5}}{\partial t}; \quad (27)$$

Спочатку підставляємо рівняння (26) у (23), яке у диференційній формі має вигляд

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x}\frac{dU'}{dx}+\left[\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_x}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)\right]\frac{d\upsilon}{dx}+\left(\frac{\partial\omega}{\partial t}-\rho' g I_0\frac{\partial Q}{\partial t}\right)\frac{dQ}{dx}=0,$$

В інтегрувальній формі дане рівняння виглядить наступним чином.

$$\int_0^{U'_{\partial.p}} \frac{\partial U'_x}{\partial x}\frac{dU'}{dx} + \int_0^{V_{\partial.p}} \left[\upsilon_x \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)\right]\frac{d\upsilon}{dx} + \int_0^{Q_{\partial.p}} \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} - \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t}\right)\frac{dQ}{dx} = 0 .$$

Після інтегрування, при меженних (крайових) умовах від *0* до $U'_{\partial.p}$, $0/V_{\partial.p}$, $0/\omega_{\partial.p}$ і від *0* до $Q_{\partial.p}$ для даного рівняння отримуємо наступний вираз:

$$-U'_{x.\partial.p} - V^2{}_{x.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.\partial.p} + \rho' g I_0 Q_{\partial.p} = 0 .$$

Аналогічним чином виконуємо розв'язок рівнянь по координатах *y* і *z*, з яких при меженних умовах від *0* до $U'_{\partial.p}$, $0/V_{\partial.p}$, $0/\omega_{к.\partial.p}$, $0/\upsilon_{п.\partial.p}$, $0/\omega_{\partial.p}$, і від *0* до $Q_{\partial.p}$ отримуємо:

$$-U'_{y.\partial.p} - V^2{}_{y.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial.p} + \varsigma_к\delta_{YZ} 2m\omega_к\upsilon_n - \omega_{\partial.p} + \rho' g I_0 Q_{\partial.p} = 0 ;$$

$$-U'_{z.\partial.p} - V^2{}_{z.\partial.p} + 0{,}333\varsigma_з\delta_z V^3{}_{z.\partial.p} + \varsigma_к\delta_{YZ} 2m\omega_к\upsilon_n = 0 .$$

З них отримуємо формули для визначення середнього гідравлічного поздовжнього похилу і площі живого перерізу потоку при стані динамічної рівноваги системи

$$I_{0.\partial.p} = \frac{U'_{x.\partial.p} + V^2{}_{x.\partial.p} - 0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.\partial.p}}{\rho' g Q_{\partial.p}} ; \qquad (28)$$

$$\omega_{\partial.p} = \rho' g I_0 Q_{\partial.p} - U'_{y.\partial.p} - V^2{}_{y.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial.p} + \varsigma_к\delta_{YZ} 2m\omega_к\upsilon_n . \qquad (29)$$

Дальше рівняння (27) підставляємо у рівняння (23), звідки отримуємо рівняння у диференційній формі наступного вигляду:

$$\left[\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)\right]\frac{d\upsilon}{dx} + \frac{\partial Q}{\partial t}\frac{dQ}{dx} - 9.85 r^2 I_0^{0,5}\lambda_3^{-0.5}\frac{\partial r^{0,5}}{\partial t}\frac{dr}{dx} = 0 .$$

Після інтегрування, при меженних умовах від *0* до $U'_{\partial.p}$, $0/V_{\partial.p}$, $0/Q_{.\partial.p}$ і від *0* до $r_{\partial.p}$ отримуємо вираз

$$-U'_{x.\partial.p} - V^2{}_{x.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.\partial.p} - Q_{\partial.p} = 0 .$$

Аналогічним чином виконуємо розв'язок рівнянь по координатах *y* і *z*, з яких при меженних умовах від *0* до $U'_{\partial.p}$, $0/V_{\partial.p}$, $0/\omega_{к.\partial.p}$, $0/\upsilon_{п.\partial.p}$, $0/\omega_{\partial.p}$, і від *0* до $r_{\partial.p}$ отримуємо

$$-U'_{y.\partial.p} - V^2{}_{y.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial,p} + \varsigma_к\delta_{YZ} 2m\omega_к\upsilon_n - Q_{\partial.p} + 6.57 r^2 I_0^{0,5}\lambda_з^{-0,5} r_{\partial.p}^{1,5} = 0 ;$$

$$-U'_{z.\partial.p} - V^2{}_{z.\partial.p} + 0{,}333\zeta_з\delta_z V^3{}_{z.\partial.p} + \varsigma_к\delta_{YZ} 2m\omega_к\upsilon_n + 6.57 r^2 I_0^{0,5}\lambda^{-0,5} r^{1,5}{}_{\partial.p} = 0 .$$

З даних виразів отримуємо формули для визначення витрати субстанції на тлі бокового приплиby субстрату з навколишнього середовища та коефіцієнта тертя субстанції ударної хвилі об субстрат навколишнього середовища

$$Q_{\partial.p} = 0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.\partial,p} - V^2{}_{y.\partial.p} - U'_{y.\partial.p} + \varsigma_к\delta_{YZ} 2m\omega_к\upsilon_n + 6.57 r^2 I_0^{0,5}\lambda^{-0,5} r_{\partial.p}^{1,5} . \qquad (30)$$

$$\frac{1}{\lambda^{0,5}} = \frac{U'_{z.\partial.p} + V^2{}_{z.\partial.p} - 0{,}333\zeta_з\delta_z V^3{}_{z.\partial.p} - \varsigma_к\delta_{YZ} 2m\omega_к\upsilon_n}{6.57 r^2 I_0^{0,5} r^{1,5}{}_{\partial.p}} . \qquad (31)$$

Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки інтенсивності розвитку явища бокового зміщення структур у системі «циклон – антициклон». Для вирішення цієї задачі підлягає наступна система рівнянь:

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x} + \upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} + \upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y} + \upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right) = 0 ; \qquad (32)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \upsilon_x\frac{\partial \upsilon_y}{\partial x} + \upsilon_y\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} + \upsilon_z\frac{\partial \upsilon_y}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y}\delta_y\right) - \varsigma_к\delta_{YZ} 2m\frac{\partial \omega_к\upsilon_n}{\partial y} = 0 ; \qquad (33)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \upsilon_x\frac{\partial \upsilon_z}{\partial x} + \upsilon_y\frac{\partial \upsilon_z}{\partial y} + \upsilon_z\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з\frac{\partial \upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right) - \varsigma_к\delta_{YZ} 2m\frac{\partial \omega_к\upsilon_n}{\partial z} = 0 . \qquad (34)$$

$$* \quad \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial a}{\partial t} + \frac{\partial b}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_{б.n}}{\partial t} ; \qquad (35)$$

$$* \quad \frac{\partial \omega}{\partial t} = \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t} . \qquad (36)$$

Рівняння (36) підставляємо у (35), що дає можливість отримати:

$$\frac{\partial\omega}{\partial t}-\rho' gI_0\frac{\partial a}{\partial t}-\rho' gI_0\frac{\partial b}{\partial t}-\rho' gI_0\frac{\partial h}{\partial t}-\rho' gI_0\frac{\partial q_{б.п}}{\partial t}=0.$$

Дальше отримане рівняння підставляємо у (31-33) з яких після диференціювання і інтегрування у межах від *0* до *U'д.р*, 0/*Vд.р*, *0/ωк.д.р*, *0/υп.д.р*, *0/ωд.р*,, *0/aд.р*, *0/bд.р*, *0/hд.р*, і від *0* до *qб.п.д.р* отримуємо вирази

$$-U'_{д.р.x}-V^2{}_{д.р..x}+0{,}333\varsigma_з\delta_x V^3{}_{д.р..x}+\rho' gI_0 a_{д.р}+\rho' gI_0 b+\rho' gI_0 q_{б.п.д.р.x}=0;$$

$$-U'_{д.р..y}-V^2{}_{д.р.y}+0{,}333\varsigma_з\delta_y V^3{}_{д.р..y}+\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з-\omega_{д.р}+\rho' gI_0 b_{д.р}+\rho' gI_0 h_{д.р}+\rho gI_0 q_{б.п.д.р.y}=0;$$

$$-U'_{д.р.z}-V^2{}_{д.р..z}+0{,}333\varsigma_з\delta_z V^3{}_{д.р..z}+\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з+\rho' gI_0 h_{д.р}+\rho' gI_0 q_{б.п.д.р.z}=0.$$

З даних виразів отримуємо формули для визначення компонент бокового припливу субстрату навколишнього середовища в об'єм потоку субстрату елементів системи

$$q_{x.д.р}=(U'_{д.р.x}+V^2{}_{д.р..x}-0{,}333\varsigma_з\delta_x V^3{}_{д.р..x}-\rho' gI_0 a_{д.р}-\rho' gI_0 b_{д.р})/\rho' gI_0; \quad (37)$$

$$q_{y.д.р}=(U'_{д.р..y}+V^2{}_{д.р.y}-0{,}333\varsigma_з\delta_y V^3{}_{д.р..y}-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з+\omega_{д.р}-\rho' gI_0 b_{д.р}-\rho' gI_0 h)/\rho' gI_0; \quad (38)$$

$$q_{z.д.р}=(U'_{д.р.z}+V^2{}_{д.р..z}-0{,}333\varsigma_з\delta_z V^3{}_{д.р..z}-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з-\rho' gI_0 h_{д.р})/\rho' gI_0 \quad (39)$$

Загальний приплив субстрату визначається арифметичною сумою компонент

$$G_{д.р}=q_{x.д.р}+q_{y.д.р}+q_{z.д.р} \quad (40)$$

Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки процесу переміщення субстанції всередині елементів та визначення форми структур при досягненні ними рівня динамічної рівноваги. Для виконання поставленої задачі пропонується система

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_x}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)=0; \quad (41)$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_y}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_y}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}\delta_y\right)-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\frac{\partial\omega_к\upsilon_п}{\partial y}=0; \quad (42)$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_z}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_z}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right)-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\frac{\partial\omega_к\upsilon_п}{\partial z}=0. \quad (43)$$

$$*\ \frac{\partial Q}{\partial t}=\frac{\partial a}{\partial t}+\frac{\partial b}{\partial t}+\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial q_{б.п}}{\partial t}; \quad (44)$$

$$*\ \frac{\partial\omega}{\partial t}=\rho' gI_0\frac{\partial Q}{\partial t}. \quad (45)$$

$$*\ \frac{\partial Q}{\partial t}=9.85r^2 I_0{}^{0,5}\lambda_3^{-0.5}\frac{\partial r^{0,5}}{\partial t}; \quad (46)$$

$$*\ \frac{\partial\omega}{\partial t}=\rho' gI_п\frac{\partial\upsilon}{\partial t}; \quad (47)$$

Рішення даних рівнянь починаємо з підстановки (44) у (41-43), які після диференціювання і інтегрування у межах від *0* до *U'д.р*, 0/*Vд.р*, *0/ωк.д.р*, *0/υп.д.р*, *0/ωд.р*,, *0/aд.р*, *0/bд.р*, *0/hд.р*, і від *0* до *qб.п.д.р* отримуємо вирази

$$-U'_{д.р.x}-V^2{}_{д.р..x}+0{,}333\varsigma_з\delta_x V^3{}_{д.р..x}+a_{д.р}+b_{д.р}+q_{б.п.д.р.x}=0;$$

$$-U'_{д.р..y}-V^2{}_{д.р.y}+0{,}333\varsigma_з\delta_y V^3{}_{д.р..y}+\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з-\omega_{д.р}+b_{д.р}+h_{д.р}+q_{б.п.д.р.y}=0;$$

$$-U'_{д.р.z}-V^2{}_{д.р..z}+0{,}333\varsigma_з\delta_z V^3{}_{д.р..z}+\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з+h_{д.р}+q_{б.п.д.р.z}=0.$$

З даних виразів отримуємо формули

$$a_{д.р}=U'_{д.р.x}+V^2{}_{д.р.x}-0{,}333\varsigma\delta_x V^3{}_{д.р.x}-b_{д.р}-q_{б.п.д.р.x}; \quad (48)$$

$$b_{д.р}=U'_{д.р.y}+V^2{}_{д.р.y}-0{,}333\varsigma\delta_x V^3{}_{д.р.y}-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з+\omega_{д.р}-h_{д.р}-q_{б.п.д.р.y}; \quad (49)$$

$$h_{д.р}=U'_{д.р.z}+V^2{}_{д.р.z}-0{,}333\varsigma\delta_x V^3{}_{д.р.z}-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з-q_{б.п.д.р.z}. \quad (50)$$

Дальше підставляються рівняння (46) у (45), що дає можливість отримати рівняння наступного вигляду:

$$\frac{\partial\omega}{\partial t}-9.85\rho' r^2 I_0^{1,5}\lambda_3^{-0.5}\frac{\partial r^{0,5}}{\partial t}=0.$$

Дальше отримане рівняння додаємо до рівнянь (41-43).

$$\frac{\partial U'_x}{\partial x}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_x}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\zeta_з\frac{\partial\upsilon_x}{\partial x}\delta_x\right)+\frac{\partial\omega}{\partial t}-9.85\rho' r^2 I_0^{1,5}\lambda^{--0,5}\frac{\partial r^{0,5}}{\partial t}=0;$$

$$\frac{\partial U'_y}{\partial y}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_y}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_y}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial y}\left(\zeta_з\frac{\partial\upsilon_y}{\partial y}\delta_y\right)-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\frac{\partial\omega_к\upsilon_n}{\partial y}+\frac{\partial\omega}{\partial t}-9.85\rho' r^2 I_0^{1,5}\lambda^{--0,5}\frac{\partial r^{0,5}}{\partial t}=0;$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial z}+\upsilon_x\frac{\partial\upsilon_z}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial\upsilon_z}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial z}\left(\zeta_з\frac{\partial\upsilon_z}{\partial z}\delta_z\right)-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\frac{\partial\omega_к\upsilon_n}{\partial z}+\frac{\partial\omega}{\partial t}-9.85\rho' r^2 I_0^{1,5}\lambda^{--0,5}\frac{\partial r^{0,5}}{\partial t}=0.$$

Після диференціювання і інтегрування даних рівнянь, при меженних умовах від *0* до $U'_{д.р}$, $0/V_{д.р}$, $0/\omega_{к.д.р}$, $0/\upsilon_{п.д.р}$, $0/\omega_{д.р}$ і від *0* до $r_{д.р}$, отримуємо вирази

$$-U'_{x.д.р}-V^2{}_{x.д.р}+0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.д.р}+6.57\rho r^2 I_0^{1,5}\lambda^{--0,5}r_{д.р}{}^{1.5}=0;$$

$$-U'_{y.д.р}-V^2{}_{y/д.р}+0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.д.р}+\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з-\omega_{д.р}+6.57\rho' r^2 I_0^{1,5}\lambda^{--0,5}r_{д.р}{}^{1.5}=0;$$

$$-U'_{z.д.р}-V^2{}_{z.д.р}+0{,}333\zeta_з\delta_z V^3{}_{z.д.р}+\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з+6.57\rho' r^2 I_0^{1,5}\lambda^{--0,5}r_{д.р}{}^{1.5}=0.$$

З другого виразу отримуємо формулу для визначення радіусу елемента системи при стані динамічної рівноваги

$$r_{x.д.р}=\left(\frac{U'_{y.д.р}+V^2{}_{y/д.р}-0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.д.р}}{6.57\rho' r^2 I_0^{1,5}\lambda^{--0,5}}\right)^{0.667}. \qquad (51)$$

$$r_{y.д.р}=\left(\frac{U'_{y.д.р}+V^2{}_{y/д.р}-0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.д.р}-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з+\omega_{д.р}}{6.57\rho' r^2 I_0^{1,5}\lambda^{--0,5}}\right)^{0.667}. \qquad (52)$$

$$r_{z.д.р}=\left(\frac{U'_{y.д.р}+V^2{}_{y/д.р}-0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.д.р}-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_з\upsilon_з}{6.57\rho' r^2 I_0^{1,5}\lambda^{--0,5}}\right)^{0.667}. \qquad (53)$$

Наступним етапом вирішення цієї задачі є підстановка рівняння (45) у (41-43), які після диференціювання і інтегрування у межах від *0* до $U'_{д.р}$, $0/V_{д.р}$, $0/\omega_{к.д.р}$, $0/\upsilon_{п.д.р}$, $0/\omega_{д.р}$, і від *0* до $V_{сер.д.р}$ отримуємо вирази

$$-U'_{x.д.р}-V^2{}_{x.д.р}+0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.д.р}+\rho' g I_n V_{сер.д.р}=0.$$

$$-U'_{y.д.р}-V^2{}_{y.д.р}+0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.д.р}+\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_к\upsilon_n-\omega_{д.р}+\rho' g I_n V_{сер.д.р}=0;$$

$$-U'_{z.д.р}-V^2{}_{z.д.р}+0{,}333\varsigma_з\delta_z V^3{}_{z.д.р}+\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_к\upsilon_n=0.$$

З другого виразу визначаємо поперечний похил потоку субстанції, який ураховує вплив градієнту силового поля атмосфери (відносне зміщення атмосфери планети при її обертанні навколо осі планети)

$$I_{п.д.р}=\frac{U'_{y.д.р}+V^2{}_{y.д.р}-0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.д.р}-\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_к\upsilon_n+\omega_{д.р}}{\rho' g V_{сер.д.р}}. \qquad (54)$$

Для визначення компонент швидкості потоку при динамічній рівновазі системи скористаємось рівняннями (41-43), які після диференціювання і інтегрування у межах від *0* до $U'_{д.р}$, $0/V_{д.р}$, $0/\omega_{к.д.р}$, і від *0* до $V_{п.д.р}$ отримуємо вирази

$$-U'_{x.д.р}-V^2{}_{x.д.р}+0{,}333\zeta_з\delta_x V^3{}_{x.д.р}=0.$$

$$-U'_{y.д.р}-V^2{}_{y.д.р}+0{,}333\zeta_з\delta_y V^3{}_{y.д.р}+\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_к\upsilon_n=0;$$

$$-U'_{z.д.р}-V^2{}_{z.д.р}+0{,}333\varsigma_з\delta_z V^3{}_{z.д.р}+\varsigma_к\delta_{YZ}2m\omega_к\upsilon_n=0.$$

з яких можна визначити компоненти швидкості потоку в координатах *x, y* і *z*

$$V_{x.\partial.p} = \frac{1}{0{,}333\varsigma_з \delta_x}; \qquad (55)$$

$$V_{y.\partial.p} = \frac{1}{0{,}333\varsigma_з \delta_y}; \qquad (56)$$

$$V_{z.\partial.p} = \frac{1}{0{,}333\varsigma_з \delta_z}. \qquad (57)$$

Таким чином, середня швидкість переміщення елементів системи визначається за формулою

$$V_{\partial.p} = \left[\left(\frac{1}{0{,}333\varsigma_з \delta_x}\right)^2 + \left(\frac{1}{0{,}333\varsigma_з \delta_y}\right)^2 + \left(\frac{1}{0{,}333\varsigma_з \delta_x}\right)^2\right]^{0,5}. \qquad (58)$$

Оцінка розрахункових характеристик. Виконуємо диференціювання та інтегрування рівнянь (9-12) у межах від *0* до $\delta_{\partial.p}$ і від *0* до $r_{\partial.p}$ після чого отримуємо

$$-0{,}667\delta^{1,5}{}_{\partial.p.x} + 0{,}333\Delta a r^3{}_{\partial.p} = 0;$$

$$-0{,}4\delta^{2,5}{}_{.\partial.p.y}. + 0{,}333\Delta b r^3{}_{\partial.p} = 0;$$

$$-0{,}333\delta^{3}{}_{.\partial.p.z}. + 0{,}333\Delta h r^3{}_{\partial.p} = 0;$$

$$-\delta_{.YZ.\partial.p} + \Delta S_{x.\partial} r_{\partial.p} = 0$$

Наведені вирази дають можливість визначити величини переміщення субстрату навколишнього середовища за наступними формулами:

$$\delta_{x.\partial.p} = \left(\frac{0{,}333\Delta a r^3{}_{\partial.p}}{0{,}667}\right)^{0,667}; \qquad (59)$$

$$\delta_{y.\partial.p} = \left(\frac{0{,}333\Delta b r^3{}_{\partial.p}}{0{,}4}\right)^{0,4}; \qquad (60)$$

$$\delta_{z.\partial.p} = \left(\frac{0{,}333\Delta h r^3{}_{\partial.p}}{0{,}333}\right)^{0,333}; \qquad (61)$$

$$\delta_{XY.\partial.p} = \Delta S_{x.\partial} r_{\partial.p}. \qquad (62)$$

Поздовжню стійкість елементів системи можна оцінити шляхом сумісного розв’язування рівнянь (6 і 13) які показані в інтегральному вигляді

$$\int\limits_0^{\omega_{\partial.p}} \int\limits_0^{Q_{\partial.p}} \left(\Delta r \frac{\partial \omega^{0.5}}{\partial t} - \rho' g I_0 \frac{\partial Q}{\partial t}\right) \frac{d\omega dQ}{dy} = 0$$

Після інтегрування у межах від *0* до $\omega_{\partial.p}$ і від *0* до $Q_{\partial.p}$ отримуємо

$$-0.667\Delta a \omega^{1.5}{}_{\partial.p} + \rho' g I_0 Q_{\partial.p} = 0,$$

звідки визначаємо *Δa*

$$\Delta a = \frac{\rho' g I_0 Q_{\partial.p}}{0.667\omega^{1.5}}. \qquad (63)$$

Для визначення “другої” (об’ємної) в’язкості, яка придбана після стискання субстрату атмосфери скористаємось емпіричною залежністю, яка розроблена по аналогії з викладеною в монографії Л. Седова [1]

$$\varsigma_з = 2\pi . r_{\partial.p} + (2/3)\mu + (1/3)\mu. \qquad (64)$$

Формула для визначення об’ємної в’язкості від дії сили Кориоліса має вигляд

$$\varsigma_к = \delta_{YZ} + (2/3)\mu + (1/2)\mu = \Delta S_{.c.x} r_{\partial.p} + 1.1667\mu, \qquad (65)$$

де $S_{c.x}$ – довжина стоячої хвилі субстрату, яка домірна 1200 м.

Аналітичне розв'язування системи рівнянь для оцінки інтенсивності швидкості пульсації потоку субстрату всередині елементів синоптичної циркуляції у пригранічній зоні. Турбулентність як явище – це природний двигун самоорганізації системи. Турбулентні структури є високоорганізованими потоками енергії, які з малими і середніми потенціалами корисні, а з великими можуть бути руйнівними. Не слід це явище порівнювати з хаосом. Хаос – це цілковита відсутність зв'язків між елементами структури. При хаосі спостерігається свобода переміщення елементів у відведеному для цього просторі. Хаос і вакуум споріднені явища, які визначають перехідну зону між структурними рівнями самоорганізації системи. Цю зону для даної задачі можна назвати нейтральним шаром, розміщеним між елементами системи. Цей шар перебуває під впливом тиску рухомих структур всередині елементів системи.

Для вирішення поставленої задачі відібрана наступна система рівнянь:

$$* \quad \frac{\partial \vec{v}'}{\partial t} = -(\vec{v}' \cdot \nabla)\vec{v}' + \nu\Delta\vec{v}' - \frac{1}{\rho'}\nabla p + \left(\varsigma + \frac{\nu}{2}\right)\delta_{i.\Delta}\nabla divP\,; \tag{66}$$

$$* \quad \frac{\partial \vec{v}'}{\partial t} = -(\vec{v}' \cdot \nabla)\vec{v}' - \frac{1}{\rho'}\nabla p\ . \tag{67}$$

Розкрите рівняння (66) у двохвимірному просторі має вигляд

$$\frac{\partial U'_y}{\partial t} = -U'_y\frac{\partial U'_y}{\partial y} - U'_z\frac{\partial U'_y}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\left(\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_z}{\partial y} - \frac{2}{3}\delta_{\Delta.y}\frac{\partial U'_y}{\partial y}\right)\right] - \frac{1}{\rho'}\frac{\partial p}{\partial y} + \left(\varsigma_з + \frac{\nu}{2}\right)\delta_{\Delta.y.}\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial p_z}{\partial z}\right); \tag{68}$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial t} = -U'_y\frac{\partial U'_z}{\partial y} - U'_z\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}\left[\nu\left(\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial U'_y}{\partial z} - \frac{2}{3}\delta_{\Delta.z}\frac{\partial U'_z}{\partial z}\right)\right] - \frac{1}{\rho'}\frac{\partial p}{\partial z} + \left(\varsigma_з + \frac{\nu}{2}\right)\delta_{\Delta.z}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial p_z}{\partial z}\right). \tag{69}$$

Рівняння (67) включено у дану систему з метою стабілізації рівня турбулентності у пристінній області, який залежить від зміни тиску. Розкрите рівняння (67) має вигляд

$$\frac{\partial U'_y}{\partial t} = -U'_y\frac{\partial U'_y}{\partial y} - U'_z\frac{\partial U'_y}{\partial z} - \frac{1}{\rho'}\frac{\partial p}{\partial y}\,; \tag{70}$$

$$\frac{\partial U'_z}{\partial t} = -U'_y\frac{\partial U'_z}{\partial y} - U'_z\frac{\partial U'_z}{\partial z} - \frac{1}{\rho'}\frac{\partial p}{\partial y}\,; \tag{71}$$

Дальше виконуємо послідовну підстановку рівнянь (68,69) у (66,67), після чого отримуємо

$$\frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\left(\frac{\partial U'_y}{\partial y} + \frac{\partial U'_z}{\partial y} - \frac{2}{3}\delta_{\Delta.y}\frac{\partial U'_y}{\partial y}\right)\right] + \left(\varsigma_з + \frac{\nu}{2}\right)\delta_{\Delta.y.}\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial p_z}{\partial z}\right) = 0\ ; \tag{70}$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\left[\nu\left(\frac{\partial U'_z}{\partial z} + \frac{\partial U'_y}{\partial z} - \frac{2}{3}\delta_{\Delta.z}\frac{\partial U'_z}{\partial z}\right)\right] + \left(\varsigma_з + \frac{\nu}{2}\right)\delta_{\Delta.z.}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial p_z}{\partial z}\right) = 0\ . \tag{71}$$

Отримані рівняння являють собою однорідну стаціонарну систему.

Після диференціювання і інтегрування даних рівнянь, при меженних умовах від *0* до $U'_{\Delta д.р}$ і від *0* до $P_{д.р}$ отримуємо наступні вирази:

$$-0{,}333.\nu U'^3{}_{\Delta.y.д.р} + 0{,}222.\nu\delta_{\Delta.y}U'^3{}_{\Delta.y.д.р} - 0{,}333.(\varsigma_з + 0.5\nu)\delta_{\Delta.y}P^3{}_{y.д.р} = 0\,;$$

$$-0{,}333.\nu U'^3{}_{\Delta.z.д.р} + 0{,}222..\nu\delta_{\Delta.z}U'^3{}_{\Delta.z.д.р} - 0{,}333.(\varsigma_з + 0.5\nu)\delta_{\Delta.z}P^3{}_{\Delta.z.д.р} = 0\,.$$

З цих виразів отримані наступні розрахункові формули для визначення величин пульсації субстрату в координатах *y* і *z*:

$$U'_{\Delta y.д..р} = \left(\frac{0{,}333.(\varsigma_з + 0.5\nu)\delta_{\Delta.y}P^3{}_{y.д.р}}{0{,}222.\nu\delta_{\Delta.y} - 0{,}333.\nu}\right)^{0{,}333}; \tag{72}$$

$$U'_{\Delta.z.д..р} = \left(\frac{0{,}333.(\varsigma_з + 0.5\nu)\delta_{\Delta.z}P^3{}_{\Delta.z.д.р}}{0{,}222.\nu\delta_{\Delta.z} - 0{,}333.\nu}\right)^{0{,}333}. \tag{73}$$

де $\delta_{.\Delta.y} = \delta_{\Delta.z}$ - товщина пригранічної зони в координатах *y* і *z,* які рекомендується приймати домірними подвоєній висоті виступів абсолютної шорсткості субстрату на поверхні пригранічної зони $2\Delta_{сер.зв}$.

Аналітичне розв'язування рівняння (66) для визначення тиску у прикордонній зоні. При зустрічі циклона з антициклоном відбувається їх взаємне стискання, що на тлі їх особистого обертання відбувається формування як нейтральної зони між структурами, так і додаткове утворення пригpaничної зони в обох структурах. Цю пригpaничну зону можна розглядати також у якості придонної або пристінної зони для різних задач в інших дисциплінах.

Для визначення компонент тиску у пригpaничній зоні використовуємо рівняння (64), яке в розкритому вигляді після диференціювання і інтегрування у межах від *0* до $U'_{д.р}$, $0/p_{д.р}$ і від *0* до $P_{д.р}$ та при початковій умові $\partial p/\partial t\big|_{t=0}$ дає вирази

$$-U'^2_{\Delta y.д.р}-0{,}333.\nu U'^3_{\Delta\, y.д.р}+0{,}222.\nu\delta_{\Delta.y}U'^3_{\Delta\, y.д.р}+(1/\rho')p_{y.д.р}-0{,}333.(\varsigma_з+0.5\nu)\delta_{\Delta.y}P^3_{y.д.р}=0;$$

$$-U'^2_{\Delta z.д.р}-0{,}333.\nu U'^3_{\Delta\, z.д..р}+0{,}222.\nu\delta_{\Delta.z}U'^3_{\Delta\, z.д.р}+(1/\rho')p_{z.д.р}-0{,}333.(\varsigma_з+0.5\nu)\delta_{\Delta.z}P^3_{\Delta.z.д.р}=0.$$

з яких отримуємо розрахункові формули

$$p_{y.д.р}=(U'^2_{\Delta y.д.р}+0{,}333.\nu U'^3_{\Delta\, y.д.р}-0{,}222.\nu\delta_{\Delta.y}U'^3_{\Delta\, y.д.р}+0{,}333.(\varsigma_з+0.5\nu)\delta_{\Delta.y}P^3_{y.д.р})\rho'; \quad (74)$$

$$p_{z.д.р}=(U'^2_{\Delta z.д.р}+0{,}333.\nu U'^3_{\Delta\, z.д..р}-0{,}222.\nu\delta_{\Delta.z}U'^3_{\Delta\, z.д.р}+0{,}333.(\varsigma_з+0.5\nu)\delta_{\Delta.z}P^3_{z.д.р})\rho'. \quad (75)$$

Величина тиску у пригpaничній зоні має бути домірна потенціалу хаосу.

Приклад розрахунку характери-тик синоптичної системи «циклон - антициклон». Вихідною початковою інформацією для розрахунків є наступне:
$a_{п.ц}=b_{п.ц}=6\cdot10^{05}$ м ; $h_{п.ц}=200$ м;
$a_{п.анц}=b_{п.анц}=9\cdot10^{05}$ м ; $h_{п.анц}=350$ м; $W_{п.ц}=5{,}66\cdot10^{13}$ м^3; $W_{п.анц}=2{,}23\cdot10^{14}$ м^3;
$r_ц=23571$м; $r_{анц}=37566$ м; $\rho'=1{,}29$ кг/м^3; $\mu=1{,}71\cdot10^{\ 05}$ кг/м·с (при температурі 5°С); $\nu=1{,}32\cdot10^{\ 07}$ м^2/с.

Хід розрахунку основних характер-ристик синоптичної системи «циклон-антициклон». При визначенні величини ς за формулою (64) рекомендується вико-ристати дані моніторингових спостере-жень стосовно деформації елементів системи в координатах *x*, *y* і *z*. За наведеними вище даними $\varsigma=407290$ кг/м·с (при $r_{анц}=37566$ м).

Дальше визначаємо величини переміщення субстанції з антициклона в циклон –

$\delta_{д.р.x}=5{,}29\cdot10^{12}$ м, $\delta_{д.р.y}=5{,}24\cdot10^{07}$ м (при $a=b=9\cdot10^{05}$ м, $\Delta a=\Delta b=4{,}5\cdot10^{05}$ м, та $r_{анц}=37566$ м) і $\delta_{д.р.z}=2{,}08\cdot10^{05}$ м (при $h=350$ м, $\Delta h=175$ м, та $r_{анц}=37566$ м).

Наступним етапом є визначення компонент швидкості переміщення субстрату - $V_{д.р.x}=1{,}39\cdot10^{-18}$ м/с, $V_{д.р.y}=1{,}4\cdot10^{-13}$ м/с, $V_{д.р.z}=3{,}54\cdot10^{-11}$ м/с, $V_{д.р}=3{,}54\cdot10^{-11}$ м/с. $U'_{д.р.y}=U'_{д.р.z}=5495$ м/с (при $\delta_{\Delta.y}=\delta_{\Delta.z}=0{,}005$ м, $P_{д.р}=\rho' r_{сер}=40000$ кгс/м^2, $\varsigma_\Delta=7\cdot10^{06}$ кг/м·с), $p_y=p_z=1{,}83\cdot10^{13}$ кгс/м^2, $p_{д.р}=2{,}59\cdot10^{13}$ с/м^2 або $2{,}54\cdot10^{10}$ Па.

Дальше обчислюємо основні морфологічні характеристики. У першому наближенні приймаємо витрату субстрату домірною величині складової від дії сили Кориоліса $Q=7{,}1\cdot10^{59}$ м^3/с (при $\varsigma_к=650298$ кг/м·с (при $\Delta S=12$ м), $\delta_{YZ}=450792$ м, $m=5.97\times10^{24}$, $\omega_м=(5{,}97\times10^{24}\times464{,}90)/6371300=4{,}356\times10^{20}$ м/с, $V_з=464{,}90$ м/с), $I_0=6\cdot10^{-57}$, $1/\lambda^{0,5}=2{,}14\cdot10^{63}$, витрата субстрату, яка визначена за формулою (30) $Q_{д.р}=1{,}42\cdot10^{60}$ м^3/с, $\omega_{д.р}=7{,}1\cdot10^{59}$м^2, $\Delta a=2{,}75\cdot10^{-86}$ м.

Отримане Δa засвідчує, що попередні дані розрахунків не зовсім коректні і потребують уточнень. Приймаємо $\Delta a=2{,}75\cdot10^{-86}$ м, при якому при наближені до стану динамічної рівноваги системи отримуємо наступні дані: $I_0=3\cdot10^{-57}$, $1/\lambda^{0,5}=3\cdot10^{63}$, $Q_{д.р}=1{,}42\cdot10^{60}$ м^3/с, $\omega_{д.р}=7{,}1\cdot10^{59}$ м^2, $\Delta a=1{,}37\cdot10^{-83}$ м.

Виконуємо третє уточнення характери-тик системи - : $I_0=3\cdot10^{-57}$, $1/\lambda^{0,5}=3\cdot10^{63}$ ($\lambda=1{,}11\cdot10^{-127}$), $Q_{д.р}=1{,}42\cdot10^{60}$ м^3/с, $\omega_{д.р}=7{,}1\cdot10^{59}$ м^2, $\Delta a=1{,}37\cdot10^{-83}$ м.

Це дає можливість визначити всі інші характеристики системи - $V_{x.д.р}=1{,}11\cdot10^{37}$ (при $\delta_x=6{,}69\cdot10^{-43}$), $V_{y.д.р}=1{,}4\cdot10^{-13}$ м/с, $V_{z.д.р}=3{,}54\cdot10^{-11}$ м/с, $V_{сер}=1{,}11\cdot10^{37}$ м/с, $I_п=3{,}84\cdot10^{-34}$, $r_{x.д.р}=1\cdot10^{07}$ м, $r_{y.д.р}=1\cdot10^{07}$ м, $r_{z.д.р}=2{,}74\cdot10^{44}$ м, $q_{x.д.р}=1{,}41\cdot10^{60}$ м^3/с ($a_{п.анц}=b_{п.анц}=9\cdot10^{05}$ м), $q_{y.д.р}=1{,}41\cdot10^{60}$ м^3/с, $q_{z.д.р}=1{,}83\cdot10^{116}$ м^3/с, $a_{д.р}=1{,}41\cdot10^{60}$ м, $b_{д.р}=1{,}41\cdot10^{60}$ м, $h_{д.р}=1{,}83\cdot10^{116}$ м.

Висновки. На основі вище викладеного можна зробити наступні науково-методичні узагальнення: аналітичне розв'язування запропонованих рівнянь дає змогу оцінити інтенсивність розвитку явища просторового переміщення атмосферних структур та виконати ряд інших розрахунків у форматі оцінки морфологічних параметрів системи. Отримані резуль-тати досліджень стосовно бокового зміщу-ння атмосферних структур можна також використати для вирішення інших проблем у суміжних областях знань.

Уста-новлено, що величина "другої" об'ємної в'язкості домірна величині деформації елементів системи під впливом градієнту тиску субстрату з боку антициклона по контуру контакту елементів у межах нейтрального шару.. Коли сила гравітації перевищує силу стискання між елемен-тами системи, то в цьому випадку відбува-ється процес розходження структур зі створенням вирів з вертикальною віссю обертання проти годинникової стрілки. Електромагнітне поле циклона дещо понижує місцевий рівень гравітації. Взаємна концентрація мікровирів, в результаті прояву властивості їх самоорганізації, на фоні однотипності (на фоні резонансу частот), викликає процес формування мезоструктур у вигляді смерчів і торнадо. У випадку, коли градієнт тиску атмосферного повітря перевищує силу гравітації, то наступає кліматичний колапс – аномальний довготривалий холод або засуха (така ситуація з холодом часто спостерігається на північному континенті Америки, а спекотна – на територіях континентів Африки, Австралії та дискретно в інших місцях Азії і Європи).

Список літератури

1. *Седов Л. И.* Механика сплошной среды / Л. И. Седов. – М. : Наука, 1983. – 528 с. **2.** *Дмитревский В. И.* Гидромеханика / В. И. Дмитревский. – М. : Морской транспорт, 1962.- 296 с. **3.** *Войткунский Я. И.* Гидромеханика : Учебник / Я. И. Войткунский, Ю. И. Фаддеев, К. К. Федяевский. – Л. : Судостроение, 1982. – 456 с. **4.** *Онищук В. В.* Розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса для крила літака / В. В. Онищук // 17-а міжнародна наук. конф. ім. акад. Михайла Кравчука (19-20 тр. 2016 р., Київ); Т. 1. Диференціальні та інтегральні рівняння, їх застосування. – К. : НТТУ «КПІ», 2016. – С. 222-225. **5.** *Онищук В. В.* Розв'язування системи рівнянь Нав'є-Стокса для оцінки динамічної рівноваги системи «потік-русло» / В. В. Онищук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. – Т.4(43). – С. 6-24.

Онищук В. В. **Розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса для оцінки динамічної рівноваги системи «циклон-антициклон».** На основі розв'язання замкненої системи рівнянь Нав'є-Стокса з метою оцінки стану динамічної рівноваги системи «циклон-антициклон» установлені трансформаційні зміни елементів системи під впливом внутрішніх і зовнішніх масових сил. Домінантний вплив на синоптичну циркуляцію здійснює сила Кориоліса. При стані динамічної рівноваги системи «циклон-антициклон» наступає затяжна кризова ситуація, яка проявляється екстремальним холодом або засухою.

Ключові слова: динамічна система «циклон–антициклон», динамічна рівновага системи, рівняння Нав'є-Стокса, солісоїдальна траекторія, вертикальні і горизонтальні деформації структурних елементів.

Onischuk V. **Solving the system of Navier-Stokes equations for estimation of dynamic equilibrium system «cyclone-anticyclone».** Based on the resolution of a closed system of Navier-Stokes equations to assess the state of dynamic equilibrium system «cyclone-anticyclone» installed transformational change elements of the system under the influence of internal and external mass forces. Dominant influence on the synoptic circulation has power Koryolisa. In a state of dynamic equilibrium system "cyclone-anticyclone" following a protracted crisis which manifested extreme cold or drought. It is established that the value of "second" bulk viscosity proportionate value of deformation elements of the system under the influence of pressure gradient substrate by contact anticyclone contour elements within the neutral layer . When the force of gravity exceeds the force of compression between elements of the system, in this case the process of distinction whirlpools structures with the creation of the vertical axis of rotation counterclockwise. The electromagnetic field of the cyclone slightly lowers the level of local gravity. Mutual microeddy concentration, resulting in the manifestation of the properties of self-organization, against uniformity (in background resonance frequencies), causing the formation mesostructure in the form of tornadoes and tornado. Where the pressure gradient air exceeds the force of gravity, the following climatic collapse - abnormal lasting cold or drought (this situation with cold often seen on the northern continent of America, and hot - on the continent of Africa, Australia and discretely elsewhere in Asia Europe).

Keywords: dynamic system "cyclone-anticyclone», dynamic equilibrium system, Navier-Stokes equations.

Онищук В. В. **Решение системы уравнений Навье-Стокса для оценки динамического равновесия системы «циклон-антициклон».** На основе решения замкнутой системы уравнений Навье-Стокса для оценки состояния динамического равновесия системы «циклон-антициклон» установлены трансформационные изменения элементов системы под влиянием внутренних и внешних массовых сил. Доминантное влияние на синоптическую циркуляцию осуществляет сила Кориолиса. При состоянии динамического равновесия системы «циклон-антициклон» наступает затяжная кризисная ситуація на обширной территории, которая проявляется экстремальным холодом или засухой.

Ключевые слова: динамическая система «циклон–антициклон», динамическая равновесная системи, уравнение Навье-Стокса, солисоидальная траектория, вертикальные и горизонтальные деформации структурных элементов.

Надійшла до редколегії 13.01.2017