

УДК 656.61

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2019.4.5>А.В. ПЕТРОВСЬКИЙ
Херсонська державна морська академія
ORCID: 0000-0002-3337-9577

АЛГОРИТМ КОРИСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПІДВІТРЯНОЇ ЗОНИ БУРОВОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПІДХОДУ СУДІВ ОФШОРНОГО ФЛОТУ

Точність судових систем динамічного позиціонування значно поширює їх використання судами різного призначення. У статті розглядається питання оптимального підходу судна до бурової платформи з точки зору мінімального управління, що зменшує витрати палива і напруженість оператора системи динамічного позиціонування. Оскільки течія є параметром постійним, існуючі пропорційно-інтегрально-диференціюючі регулятори можуть впоратися без особливих проблем, але при наявності такого параметру як вітер, який може бути поривчастим, вони відпрацьовують із затримками. У підвітряній зоні платформи вплив такого змінного параметру на офшорне судно можливо нівелювати, якщо знайти її геометричні розміри. Метою статті є розробка алгоритму визначення оптимального курсу та координат для підходу офшорних судів у геометричних межах підвітряної зони платформи. Пропонується використання математичної моделі визначення довжини та висоти підвітряної зони платформи як для окремо розташованого будинку на відкритому просторі. Ширина зони, у статті, приймається рівною ширині перерізу трьохмірної моделі надводної частини платформи, що розташована перпендикулярно до напрямку вітру. Згідно існуючої моделі визначення довжини підвітряної зони, розраховується її висота та порівнюється з висотою надводної частини судна. Розроблено алгоритм, який використовує параметри підвітряної зони для визначення курсу та координат Universe Transfer Mercator, які є початковою точкою для входу у підвітряну зону, згідно висоти надводної частини судна. Алгоритм надає можливість програмної побудови маршрутів підходу лагом та кормою з використанням інтерактивного режиму контролю позиції протягом виконуючої прокладки. Згідно практичних рекомендацій, при виборі варіанту маршруту, доцільно обирати підхід кормою внаслідок більш безпечного відходу судна при виникненні нештатних ситуацій.

Ключові слова: система динамічного позиціонування, підвітряна зона, курс, алгоритм, офшорний флот.

А.В. ПЕТРОВСКИЙ
Херсонская государственная морская академия
ORCID: 0000-0002-3337-9577

АЛГОРИТМ ПОЛЕЗНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДВЕТРЕННОЙ ЗОНЫ БУРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПОДХОДА СУДОВ ОФШОРНОГО ФЛОТА

Точность судовых систем динамического позиционирования значительно расширяет область их использования судами различного назначения. В статье рассматривается вопрос оптимального подхода судна к буровой платформе с точки зрения минимального управления, что уменьшает расход топлива и напряженность оператора системы динамического позиционирования. Поскольку течение является параметром постоянным, существующие пропорционально-интегрально-дифференцирующие регуляторы могут справиться без особых проблем, но при наличии такого параметра как ветер, который может быть порывистым, они обрабатывают с задержками. В подветренной зоне платформы влияние такого переменного параметра на офшорное судно можно нивелировать, если найти ее геометрические размеры. Целью статьи является разработка алгоритма определения оптимального курса и координат для подхода офшорных судов в геометрических пределах подветренной зоны платформы. Предлагается использование математической модели определения длины и высоты подветренной зоны платформы как для отдельно стоящего дома на открытом пространстве. Ширина зоны, в статье, принимается равной ширине сечения трехмерной модели надводной части платформы, расположенной перпендикулярно направлению ветра. Согласно существующей модели определения длины подветренной зоны, рассчитывается ее высота и сравнивается с высотой надводной части судна. Разработан алгоритм, который использует параметры подветренной зоны для определения курса и координат Universe Transfer Mercator, которые являются исходной точкой для входа в подветренную зону, согласно высоты надводной части судна. Алгоритм позволяет программно создавать маршруты подхода лагом и кормой с использованием интерактивного режима контроля позиции во время исполняющей прокладки. Согласно практических рекомендаций, при выборе варианта маршрута, целесообразно выбирать подход кормой вследствие более безопасного отхода судна при возникновении нештатных ситуаций.

Ключевые слова: система динамического позиционирования, подветренная зона, курс, алгоритм, оффшорный флот.

A.V. PETROVSKIY
Kherson State Maritime Academy
ORCID: 0000-0002-3337-9577

ALGORITHM OF USEFUL USE OF AERIAL DRILL PLATFORM AREA FOR APPROACH OF OFFSHORE FLEET VESSELS

The accuracy of vessels dynamic positioning systems in the courts greatly expands the scope of their use by vessels of various purposes. The article deals with the optimal approach of the ship to the drilling platform in terms of minimum control, which reduces fuel consumption and the tension of the operator of the dynamic positioning system. As the flow is a constant parameter, existing proportional-integral-differentiating controllers can cope without any problems, but in the presence of a parameter such as wind, which can be gusty, they work with delays. In the leeward area of the platform, the influence of such a variable parameter on an offshore vessel can be offset by finding its geometric dimensions. The purpose of the article is to develop an algorithm for determining the optimal course and coordinates for the approach of offshore vessels within the geometric limits of the platform's leeward zone. It is proposed to use a mathematical model to determine the length and height of the leeward area of the platform as a freestanding house in the open space. The width of the zone, in the article, is taken to be equal to the section width of the three-dimensional model of the freeboard above the platform, located perpendicular to the wind direction. According to the existing model for determining the length of the leeward zone, its height is calculated and compared with the height of the freeboard. An algorithm was developed that uses the leeward zone parameters to determine the course and coordinates of the Universal Transfer Mercator, which are the starting point for entering the leeward zone, according to the height of the freeboard. The algorithm allows to programmatically create approach routes with lag and stern using the interactive mode of position control during the execution of laying. According to practical recommendations, when choosing a route option, it is advisable to choose the stern approach due to safer departure of the vessel in case of emergency.

Keywords: dynamic positioning system, leeward zone, course, algorithm, offshore fleet.

Постановка проблеми

Сучасні системи динамічного позиціонування пристосовані до конкретної моделі судна внаслідок розбіжності маневрових та конструктивних характеристик між судами. Математичні моделі, що застосовуються при формуванні документів ДП (система динамічного позиціонування) Capability Plot жорстко прив'язані до конструкції судна і не можуть повною мірою характеризувати ймовірну поведінку судна при зміні параметрів: диференту, крену, відказів виконуючих елементів системи управління. Для розширення інформації о можливостях судна щодо утримання позиції, формують документи ДП FootPrint за межами 500 м зони від платформи [1]. Однак на маршруті від точки формування аркушів ДП FootPrint до платформи зовнішні умови змінюються протягом маршруту завдяки наявності підвітряної зони платформи (розглядаються платформи стаціонарні та вільно закріплені до дна). Це впливає на величину очікуваного дрейфу судна. Використання векторизованих аркушів ДП FootPrint, отриманих за межами кола безпеки платформи 500 м не завжди є повністю адекватним, оскільки зміна характеристик вітру (швидкості, напрямку) впливає на параметри дрейфу у підвітряній зоні. Тому доцільно знати найбільш оптимальний курс підходу до платформи у підвітряній зоні та координати останньої точки підвітряної зони вдовж вектору підходу. Успіх ДП операції багато в чому залежить від того, як здійснювався підхід до платформи, наскільки точно оцінено оператором ДП вплив зовнішніх умов на маневри судна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Програмні рішення систем динамічного позиціонування на даний час не мають розрахункових моделей, пов'язаних із використанням підвітряної зони підходу до платформи, але є достатня кількість робіт, пов'язаних з моделюванням підвітряної зони від окремо розташованого будинку. При цьому принципи розподілу повітряних потоків при перешкоді на воді та на землі будуть подібні, розбіжності можуть виникнути при дослідженні підстилаючого вітру внаслідок різних поверхонь.

Обтікання платформи потоком повітря навіть при найпростішій її формі - паралелепіпеді - є складним процесом через тривимірність перешкоди і впливу підстильної поверхні - поверхні моря. Модель визначення довжини підвітряної зони аналогічна моделям розподілення повітряних потоків при окремо побудованій будівлі на землі.

В роботі [2] розглядаються фізичні процеси, що відбуваються при обтіканні повітрям перешкоди, і будівля апроксимується паралелепіпедом висотою H_s , довжиною L_0 (розмір найбільшої

сторони розрізу) і шириною $L_{ши}$. Значення $L_{до}$ і $L_{ши}$ повинні задовольняти умові $S_p = L_{до}L_{ши}$, (S_p – площа розрізу, яка перпендикулярна до напрямку вітру), а положення бічних сторін апроксимуючого паралелепіпеда вибирається так, щоб вони були близькі до стін будівель.

Для платформи при заданому напрямку вітру існують три основних типи вітрових тіней: підвітряна (I), на даху (II) і навітряна (III), як і для будівлі на землі (рис. 1).

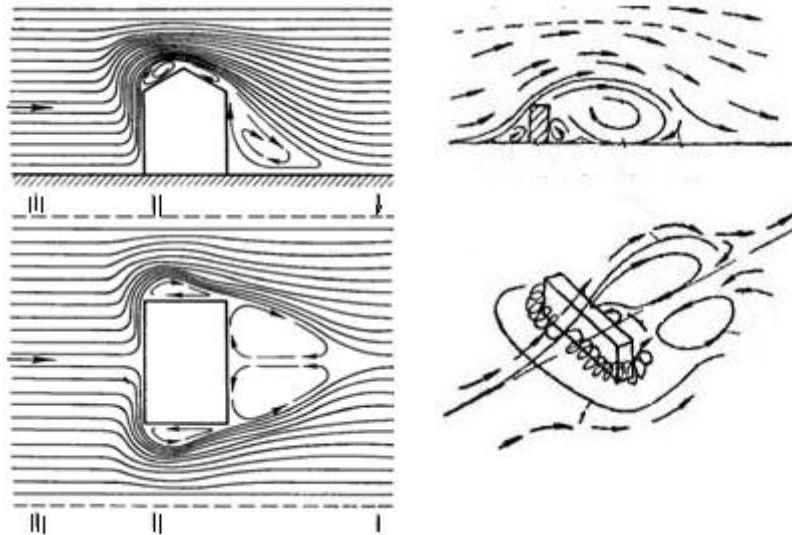


Рис. 1. Розподіл потоків повітря [2,3] з визначенням зон вітряних тіней (I-III)

Максимальне значення H_I , висоти над рівнем моря вітрової тіні і її протяжність L_I , визначається формулами [4]:

$$H_I = H_{пл} \quad L_I = 4L^* \tag{1}$$

$$\begin{cases} L^* = H_{пл} & \text{при } H_{пл} \leq L_{ши} \\ L^* = L_{ши} & \text{при } H_{пл} > L_{ши} \end{cases} \tag{2}$$

Розміри $L_{до}$ і $L_{ши}$ встановлюються в залежності від напрямку вітру.

Для розрахунку аеродинамічної тіні по висоті [5-7] використовують також формулу:

$$H_I(x) = H_{пл} \left[1 - \left(\frac{x}{4L^*} \right)^2 \right] \quad \text{при } 0 \leq x \leq 4L^* \tag{3}$$

де x – табульований параметр довжини підвітряної зони.

Довжина підвітряної зони:

$$L_I = 4,8 \left(1 - \frac{1}{e^{0,4 \left(\frac{1}{H_{пл}} \right)^{0,68}}} \right) \tag{4}$$

У роботі [2] складено залежності розмірів зони аеродинамічного сліду (підвітряної зони) від габаритних розмірів будівлі (рис.2). На графіку розміри дано у відносних величинах - по відношенню до $H_{пл}$.

Іншим напрямком досліджень є робота [8], у якій наведено приклад розрахунку залежності довжини вітрової тіні окремої будівлі від відношення довжини фасаду будівлі до висоти при направленні вітру під кутом 90° до фасаду при розбитті всієї поверхні на райони дії вітрів. Зниження швидкості вітру у підвітряній зоні склало від 40 до 70%. Цей спосіб можливо використовувати для платформи, якщо розглядати статистичний розподіл напрямку вітру у районі її місцезнаходження.

Запропонований в роботі [9] підхід до розрахунку параметрів підвітряної зони, заснований на використанні аеродинамічних коефіцієнтів, що обчислюються експериментальним шляхом, припускає використання досить тривалого проміжку часу для розрахунку таких коефіцієнтів, що призведе до збільшення часу оцінки вітрового впливу на платформу у разі використання такої моделі.

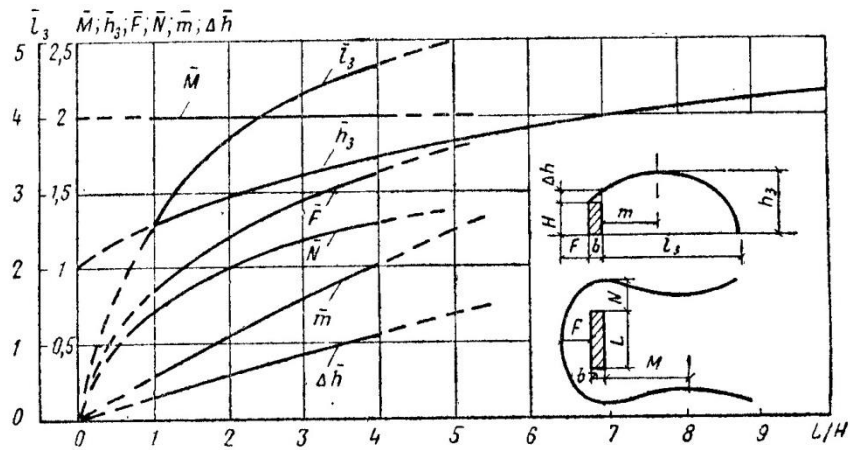


Рис. 2. Графік залежності розмірів зони аеродинамічного сліду від розмірів будівлі

Також, якщо вітрові тіні будівель, які необхідно врахувати в розрахунках, перетинаються, то утворюється об'єднана тінь [6-7] (рис.3).

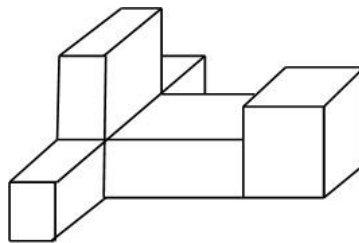


Рис. 3. Апроксимація паралелепіпедами будівель складної конфігурації

Внаслідок різноманітності конструкцій бурових платформ таке уявлення складних конструкцій дуже спрощує обчислення параметрів розрізів.

Формулювання мети дослідження

Предметом дослідження є розподілення вітрових потоків при надводних перешкодах, об'єктом - аеродинамічний слід платформи [10]. Мета дослідження – розробка алгоритму визначення оптимального курсу та координат для підходу офшорних судів з використанням геометричних меж підвітряної зони платформи.

Викладення основного матеріалу дослідження

При плануванні маршруту засобами електронної картографічної навігаційної інформаційної системи (ЕКНІС) необхідно перевірити маршрутні точки на відстань від платформи (не ближче 1 м.милі).

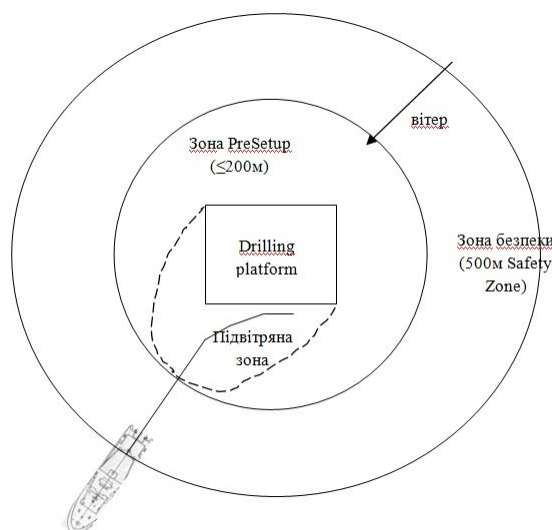


Рис. 4. Розміщення Safety та PreSetup зон навколо бурової платформи

Зонування акваторії з центром – бурова платформа [11], надано на рис.4.

Алгоритм підходу судна з моменту перетинання PreSetup зони здійснюється в інтерактивному режимі. Якщо у майбутньому буде дозволено правилами здійснення ДП операцій – в автоматичному режимі.

Алгоритм складається із кроків:

1. Здійснити оцінку зовнішніх умов. Припустимі параметри для проведення ДП операції: вітер ≤ 25 вузлів; хвилювання ≤ 4 м; видимість - далі 250м.
2. По значенню анемометру (середнє значення при наявності кількох справних пристроїв) визначити проекцію платформи під вісьовій атаки вітру для навітреного боку. Ресурси: анемометри та трьохвимірна модель надводної частини конструкції платформи. Таку модель необхідно векторизувати стосовно найбільших її частин або представити паралелепіпедом/їх сукупністю.
3. Розрахувати згідно математичної моделі (1-4) потоків вітру у підвітряній зоні: її довжину та висоту.
4. Побудувати епюри вітряних потоків за розрахованими показниками.
5. Побудувати візуальне відображення зони за координатною сіткою UTM [12] стосовно системи динамічного позиціонування.
6. У режимі Joystick оператор ДП веде судно до перетинання лінії визначеного оптимального курсу підходу і 500м зони безпеки (Safety Zone).
7. Оператор ДП здійснює drift тест та проводить тести для отримання даних документів ДП FootPrint. Якщо судно не можливо утримати на позиції із витратою до 50% енергії ДП операцію здійснити неможливо.
8. Перевести режим роботи радару у StandBy (оскільки його використання у межах зони безпеки платформи заборонено), а інше радіо випромінююче обладнання у 1Вт режим (у тому числі VHF, AIS). Визначити безпечну швидкість (звичайно до 3 вузлів, оскільки при збільшенні швидкості трастери зменшують свою ефективність, наприклад, тунельного типу – втрачають до 50% ефективності).
9. При досягненні судном координат входу у зону PreSetup здійснити ще один drift тест, оскільки умови децю інші (зменшення впливу вітру). Здійснити протягом 10-15 хвилин пробне утримання позиції. На базі отриманих даних підібрати програмно аркуші ДП FootPrint стосовно значень зовнішніх умов. За алгоритмом зона PreSetup буде мати змінний радіус: в залежності від довжини підвітряної зони (звичайний радіус ≤ 200 м). Якщо вітру немає або 0-3 бали за шкалою Бофорта, радіус приймається рівним 200м.
10. Здійснити тестовий радіообмін з метою підтвердження очікуваності судна платформою.
11. Згідно загально прийнятою практикою, прокласти маршрут підходу до платформи, починаючи із кінця вісьової підвітряної зони до точки безпеки біля платформи (як правило за 10м до платформи) з двома варіантами: лагом та кормою до курсу СТW платформи по окремих шагах у режимі AutoPos: 200м (або менше згідно розрахунків розміру підвітряної зони), 100м, 50м, 10м. Встановити швидкість на ділянках 200м-100м 1 вузел та контроль кожні 20м; 100м – 50м 0,6-0,7 вузла з контролем кожні 10м. Перевірити точки маршруту: вони не повинні співпадати із координатами платформи. При підході до платформи курс судна не повинен перетинати курс платформи. Запропоновані оператору два варіанти мають розбіжності при побудові маршруту зворотнього напрямку у разі появи нештатних ситуацій. При руху кормою залишається більш маневру вісями: jaw для коректування курсу судна та surge для руху вперед (нівелюється рух вдовж платформи).
12. Визначити Escape маршрут, використовуючи побудовані межі підвітряної зони та за її межами та обраний оператором варіант підходу. Первісний режим покидання зони PreSetup – AutoPos. Якщо був інший на момент виникнення нештатної ситуації – не змінювати його.
13. На ділянці від 50м увімкнути 3-тю систему визначення позиції та використовувати особливі параметри швидкості до виходу на цільові координати біля платформи.
14. Стабілізувати судно. Здійснити пробне утримання позиції протягом 30 хвилин для налагодження роботи математичної моделі утримання судна на позиції за допомогою ПД регулятора. Якщо судно не можливо утримати на позиції із витратою до 50% енергії ДП операцію здійснити неможливо – вихід із зони.
15. Здійснення вантажних робіт.
16. Вихід із зони.

Висновки

Оскільки для більш прогнозованого дрейфу судна найбільш безпечним є використання підвітряної зони платформи, то визначення геометричних контурів такої зони за координатами UTM є досить важливим. Звісно, використання алгоритму доки можливе лише в інтерактивному режимі,

оскільки керування в режимі автопілоту при підході до платформи заборонено правилами здійснення операцій ДП, але це все ж таки суттєво полегшить планування маневрів та їх виконання. При побудові ESCAPE маршруту [1] знання контурів такої зони допоможе більш точно планувати маневр судна при виникненні нештатних критичних ситуацій, а побудова кількох варіантів маршрутів скоротить час на прийняття рішення щодо відходу деградованого судна. У подальшому необхідно визначити аналітичні залежності ширини підвітряної зони від її довжини. При цьому здійснити апроксимацію контурів ширини зони.

Список використаної літератури

1. Captain David Bray FNI. Dynamic positioning (DP) Operation planning and watchkeeping. - Режим доступу: <https://www.nautinst.org/uploads/assets/uploaded/6f4eef34-01c2-40c9-a7beae1d2485d72c.pdf>
2. Обтекание здания потоком воздуха, зона аэродинамического следа. - Режим доступу: <https://msd.com.ua/otoplenie-i-ventilyaciya/obtekanie-zdaniya-potokom-vozduha-zona-aerodinamicheskogo-sleda/>
3. Бобков А. С. Основы строительства промышленных зданий и сооружений химической промышленности. М.: Высшая школа, 1965 - 263 с.
4. Лозинский Э.А., Ветровой подпор от высотного здания в условиях уплотнения существующей жилой застройки. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво), ПолтНТУ, 2011, 2(30), pp.129-137. - Режим доступу: http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DO WNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Znpgmb_2011_2_25.pdf
5. Обтекание здания потоком воздуха, зона аэродинамического следа. - Режим доступу: <https://msd.com.ua/otoplenie-i-ventilyaciya/obtekanie-zdaniya-potokom-vozduha-zona-aerodinamicheskogo-sleda/>
6. Приказ Минприроды РФ от 06.06.2017 N 273. Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. Available at: Режим доступу: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=310516>
7. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий РД 52.04.212-86 ОНД-86. - Режим доступу: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=66663>
8. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки. - Режим доступу: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293801/4293801575.htm#i945333>
9. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра Электронный фонд правовой и технической документации. М.: Стройиздат, 1978. - Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/1200043083>
10. Богословский В.Н., Новожилов В.И., Отопление и вентиляция. Часть II. Вентиляция. М.: Стройиздат, 1976. - 439с.
11. IMO Resolution A.671(16) Adopted on 19 October 1989. Safety zones and safety of navigation around.- Режим доступу: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.671\(16\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.671(16).pdf)
12. Универсальная поперечная проекция Меркатора (UTM). - Режим доступу: https://docs.qgis.org/2.14/ru/docs/gentle_gis_introduction/coordinate_reference_systems.html

References

1. Captain David Bray FNI. Dynamic positioning (DP) Operation planning and watchkeeping.. Available at: <https://www.nautinst.org/uploads/assets/uploaded/6f4eef34-01c2-40c9-a7beae1d2485d72c.pdf> (accessed 9 December 2019)
2. Obtekanie zdaniya potokom vozduha, zona aerodinamicheskogo sleda. Available at: <https://msd.com.ua/otoplenie-i-ventilyaciya/obtekanie-zdaniya-potokom-vozduha-zona-aerodinamicheskogo-sleda/> (accessed 9 December 2019)
3. Bobkov A. S. Osnovy stroitel'stva promyshlennyh zdaniy i sooruzhenij himicheskoy promyshlennosti. M., Vysshaya shkola, 1965. 263 s.
4. Lozinskij E.A., Vetrovoj podpor ot vysotnogo zdaniya v usloviyah uplotneniya sushchestvuyushchej zhiloy nastrojki. Zbirnik naukovih prac' (galuzeve mashinobuduvannya, budivnictvo), PoltNTU, 2011, 2(30), pp.129-137. Available at: http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DO WNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Znpgmb_2011_2_25.pdf (accessed 9 December 2019)
5. Obtekanie zdaniya potokom vozduha, zona aerodinamicheskogo sleda. Available at: <https://msd.com.ua/otoplenie-i-ventilyaciya/obtekanie-zdaniya-potokom-vozduha-zona-aerodinamicheskogo-sleda/> (accessed 9 December 2019)

6. Prikaz Minprirody RF ot 06.06.2017 N 273. Ob utverzhdenii metodov raschetov rasseivaniya vybrosov vrednyh (zagryaznyayushchih) veshchestv v atmosfernom vozduhe. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=310516> (accessed 9 December 2019)
7. Metodika rascheta koncentracij v atmosfernom vozduhe vrednyh veshchestv, sodержashchihsya v vybrosah predpriyatij RD 52.04.212-86 OND-86. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=66663> (accessed 9 December 2019) (accessed 9 December 2019)
8. Rukovodstvo po ocenke i regulirovaniyu vetrovogo rezhima zhiloh zastrojki. Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293801/4293801575.htm#i945333> (accessed 9 December 2019)
9. Rukovodstvo po raschetu zdaniy i sooruzhenij na dejstvie vetra Elektronnyj fond pravovoj i tekhnicheskoy dokumentacii. M., Strojizdat, 1978. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200043083> (accessed 9 December 2019)
10. Bogoslovskij V.N., Novozhilov V.I., Otoplenie i ventilyaciya. CHast' II. Ventilyaciya. M., Strojizdat, 1976. 439p.
11. IMO Resolution A.671(16) Adopted on 19 October 1989. Safety zones and safety of navigation around. Available at: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.671\(16\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.671(16).pdf) (accessed 9 December 2019)
12. Universal'naya poperechnaya proekciya Merkatora (UTM). Available at: https://docs.qgis.org/2.14/ru/docs/gentle_gis_introduction/coordinate_reference_systems.html (accessed 9 December 2019)