



УДК 574.2:574.3:574.9

О. В. Мацюра, М. В. Мацюра

**МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ, ШВИДКОСТІ ТА  
МІГРАЦІЙНИХ ДИСТАНЦІЙ ПТАХІВ***Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького*

Наведено результати прогностичного аналізу, виконаного за допомогою програми для модельних птахів, які мігрують у межах Чорноморсько-Середземноморського пролітного шляху: лелеки білого та пелікана рожевого. Треба відзначити, що дані, отримані за допомогою програми, практично збігаються з експериментальними результатами та даними радіолокаційних спостережень, виконаних нами та іншими дослідниками. Оптимальна швидкість дозволяє птахам виконувати польоти з більш крутим ширянням та більш короткою відстанню між термальними потоками. Час для пошуку наступного ефективного терміку (термального потоку) скорочується через збільшення швидкості, що, у свою чергу, скорочує середній підйом у термальних потоках, збільшує ризик не знайти відповідний термік. При великих швидкостях ширяння птахи зменшують розмах крила та площу крил за рахунок згинання суглобів кінцівок. Це зменшує профільний опір та збільшує індуктивний опір. Профільний опір зростає, а індуктивний опір зменшується зі зростанням швидкості птаха. При ідеальних умовах птахи намагаються знайти таке положення розмаху крил, яке зменшує різницю між значеннями профільного та індуктивного опору

*Ключові слова: програма Flight , міграція, птахи, енергетичні параметри, прогноз, моделювання.*

А. В. Мацюра, М. В. Мацюра

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, СКОРОСТИ И  
МИГРАЦИОННЫХ РАССТОЯНИЙ ПТИЦ***Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана  
Хмельницького*

Приведены результаты прогностического анализа, выполненного с помощью программы для модельных птиц, которые мигрируют в пределах Черноморско-Средиземноморского пролетного пути: аиста белого и пеликана розового. Надо отметить, что данные, полученные с помощью программы, практически совпадают с экспериментальными результатами и данными радиолокационных наблюдений, выполненных нами и другими исследователями. Оптимальная скорость позволяет птицам выполнять полеты с более крутым парением и более коротким расстоянием между термальными потоками. Время для поиска следующего эффективного термика (термального потока) сокращается из-за увеличения скорости, что, в свою очередь, сокращает средний подъем в термальных потоках, увеличивает риск не найти соответствующий термик. При больших скоростях парения птицы уменьшают размах крыла и площадь крыльев за счет сгибания суставов конечностей. Это уменьшает

профильное сопротивление и увеличивает индуктивное сопротивление. Профильное сопротивление возрастает, а индуктивное сопротивление уменьшается с ростом скорости птицы. При идеальных условиях птицы пытаются найти такое положение размаха крыльев, которое уменьшает разницу между значениями профильного и индуктивного сопротивления

*Ключевые слова:* программа *Flight*, миграция, птицы, энергетические параметры, прогноз, моделирование.

Matsyura A. V., Matsyura M. V.

**MODELLING OF THE ENERGY COSTS, FLIGHT SPEED,  
AND MIGRATORY DISTANCES OF THE MIGRATORY BIRDS**

*Bogdan Chmelnitskiy Melitopol State Pedagogical University*

The results of the preliminary analysis carried out by *Flight* software for White Stork and Pelican that migrate within the Mediterranean-Black Sea Migratory Route were presented. Obtained results practically coincide with experimental results and data of radar observations. Optimum speed allows the birds to fly with a higher grade soaring and shorter distance between the thermal flows. Time to find the next effective thermals (thermal flux) is reduced by increasing the speed, which in turn reduces the average rise in thermal flows, increases the risk not to find appropriate thermal. Soaring birds reduce wingspan and wing area by bending the joints of the extremities at high speeds. This reduces profile resistance and increases the inductive reactance. Profile resistance increases and the inductive reactance decreases with increasing of bird speed. Under ideal conditions the birds try to find a position of wingspan, which reduces the difference between the values of profile and inductive resistance.

*Key words:* *Flight* software, migration, birds, energetic parameters, prognosis, modeling.

**Поступила в редакцию 27.10.2012**

**Как цитировать:**

Мацюра, О. В., Мацюра, М. В. (2012). Моделювання енергетичних параметрів, швидкості та міграційних дистанцій птахів. *Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого*, 3(6), 46-58.

**© Мацюра О.В., Мацюра М.В., 2012**



За допомогою програми *Flight* можна виконати прогноз міграційних дистанцій птахів та провести оцінку витрат енергії, пов'язаних з дальньою міграцією (Мацюра, 2005). Дальня міграція характеризується певним типом балансу енергії. Мігруючий птах повинен витратити енергію для життєзабезпечення, терморегуляції та польоту. Витрати енергії зростають, якщо птах стикається з несприятливими погодними умовами, такими як сильні вітри або низькі температури.

«Пальне» для польоту – це жир, накопичений до міграції, його кількість залежить від розміру птаха. Дальність польоту залежить від кількості «пального», згідно з цим постулатом птах повинен прагнути накопичити якомога більше жирових запасів; проте якщо запаси жиру дуже великі, то це обмежуватиме здібності птаха до польоту і він буде більш уразливим для хижаків. Це свідчить на користь того, що птах не здатний подолати міграційну відстань за один безперервний політ, а долає цю відстань за декілька коротких етапів (Safriel, 1988). Більшість дальніх мігрантів використовують зупинки, щоб відпочити й поповнити енергетичні запаси.

Програма також розглядає вплив маси корисного навантаження (кількості жирових запасів), висоти польоту і швидкості вітру на потенційну міграційну дистанцію перелітних птахів. При виконанні розрахунків у програмі використовуються морфометричні дані (Pennycuick, 1989).

Загалом група з трьох дослідників здатна провести необхідні дослідження одного або більше видів птахів, виконати необхідні розрахунки міграційних характеристик та екологічних особливостей польоту за допомогою лінійки, кронциркуля, міліметрового паперу, ваг, калькулятора та даної програми. Для отримання вихідних даних необхідно виміряти розмах крил і масу тіла досліджуваного птаха.

### **Методи Досліджень**

Програма здатна обчислити енергетичну криву польоту при різних швидкостях, використовуючи морфологічні дані, та графічно її зобразити. Програма виконує розрахунок енергетично мінімальної швидкості ( $V_{mp}$ ), максимальної швидкості ( $V_{mr}$ ), енергетичного споживання для обох швидкостей та жирового споживання при максимальній швидкості польоту.

Програма розраховує дальність польоту міграції, допускаючи споживану жирову масу як 30 % від маси тіла, розглядає вплив фронтального вітру при його різних швидкостях, різний первинний уміст жиру на максимальну відстань, яку здатний подолати птах, та жирове споживання під час польоту.

#### *Обчислення енергетичної кривої польоту*

Програма обчислює енергетичну криву методом, запропонованим Pennycuick (1975, 1989), та проводить розрахунок, що заснований на

використанні птахом певної кількості жирових запасів і кисню - фізіологічні аспекти польоту (Дольник, 1964, 1975; Liechti, 2000).

Для обчислення необхідні такі дані:

- назва виду;
- маса, кг (для дальніх мігрантів це маса тіла без накопиченого жиру);
- корисне навантаження, кг (маса накопиченого жиру);
- розмах крил, м.

Програма також використовує в моделі дані про щільність повітря, яка змінюється з висотою, і дорівнює на рівні моря приблизно  $1,184 \text{ кг/м}^3$ .

#### *Визначення відстані польоту дальніх мігрантів*

Існує можливість запуску підпрограми, яка обчислює дистанцію польотів дальніх мігрантів. Перед запуском програми досліднику необхідно оцінити середнє співвідношення між підйомною силою та лобовим опором, або аеродинамічну якість, яку можна отримати шляхом запуску головної програми двічі. При першому запуску необхідно встановити корисне навантаження, що дорівнює нулю (коли енергетичні ресурси повністю виснажені), при іншому запуску слід установити масу споживаного жиру.

#### *Результати аналізу*

Перший блок результатів представляє записи запровадженої інформації та значення змінних, необхідних для обчислення. Програма будує енергетичну криву в приростах  $1 \text{ м/с}$ , починаючи від значення, дещо нижчого за мінімальну енергетичну швидкість і завершуючи значеннями, які дещо вищі за максимальну швидкість. Основна інформація, розрахована програмою, це:

- 1) швидкість польоту,  $\text{м/с}$ ;
- 2) сумарна енергія, необхідна для польоту (у ватах), зокрема базальний метаболізм та енергія, необхідна для дихальної та кровоносної систем;
- 3) ефективне співвідношення між підйомною силою і лобовим опором;
- 4) сумарна енергія, що виражена хімічною формулою. Це значення можна отримати з ділення значення пункту 2 на конверсійну ефективність. Можна використовувати ці дані для порівняння з оцінками енергоспоживання, одержаними при проведенні фізіологічних експериментів, наприклад при вимірюванні кисневого споживання.
- 5) споживання жиру,  $\text{г/км}$ , при обчисленні якого враховується значення фронтального або попутного вітру, задане користувачем.

Крім того, програма виконує такі підрахунки:

- мінімальну енергетичну швидкість,  $V_{mp}$  ( $\text{м/с}$ ): швидкість, із якою птах повинен летіти при найменших витратах енергії;
- максимальну швидкість,  $V_{mr}$  ( $\text{м/с}$ ): швидкість, із якою птах може покрити найбільшу відстань згідно із заданою кількістю пального (жиру);
- $P_{min}$  – споживання енергії для мінімальної енергетичної швидкості ( $W$ );



-  $P_{mr}$  – споживання енергії для максимальної відстані, яку птах здатний подолати;

-  $L/D_{max}$  - безрозмірне співвідношення, яке використовують, щоб порівняти аеродинамічну ефективність різних видів птахів при різних швидкостях. Мінімальне жирове споживання обчислюється для польоту на максимальній швидкості. На відміну від значення пункту 5, ця величина розраховується, не беручи до уваги швидкості вітру.

#### *Обчислення механічної енергії, необхідної для польоту*

У програмі існує спеціальний алгоритм, який призначений для вирішення проблем механічної природи і ґрунтується на оцінках механічної енергії польотної мускулатури. Її основна відмінність полягає в припущенні, що загальна енергія – це механічна енергія, необхідна для польотної мускулатури, виключаючи метаболічні компоненти енергії (базальний метаболізм та енергію кровообігу/дихання).

#### *Ширяючий політ*

Дана підпрограма спроектована для того, щоб оцінити витрати енергії ширяючого польоту, перш за все великих (грифи, лелеки) і морських видів птахів (альбатрос). Ця підпрограма вимагає додаткових даних – площі крил птаха ( $m^2$ ). Програма пропонує два блоки результатів. Вона видає на друк «полярну супердіаграму», в основі якої знаходиться припущення, що птах зменшує розмах крил при середніх і високих швидкостях на величину, яка мінімізує індуктивний і профільний опір повітря (Pennycuick, 1996; Velham, 1994). Другий блок показує оцінку максимальної швидкості підняття птаха у висхідні теплі потоки повітря (до 6 м/с). Для значення вертикальної швидкості наводяться дві оцінки: перша, розрахована за даними полярної діаграми стандартним методом (Batschelet, 1981), і друга, яка припускає, що птах завжди летить між висхідними потоками повітря на швидкості, що відповідає ідеальному куту ширяння незалежно від вертикальної швидкості (Pennycuick, 1998). Розрахунок споживання жиру базується на припущенні, що повна норма споживання паливної енергії під час ширяючого польоту вдвічі більше від норми базального метаболізму. При розрахунках беруться до уваги будь-які значення попутного або супротивного вітру, які можуть бути задані користувачем.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ**

Нами було виконане дослідження аеродинамічних особливостей птахів, що використовують ширяючий політ, – лелеки білого та пелікана рожевого (див. табл. 1 для морфометричних даних).

**Таблиця 1. Деякі аеродинамічні характеристики досліджуваних птахів**

Назва виду	Відносне подовження крила*	Маса тулуба, кг	Розмах крил, м	Площа поверхні крил, м <sup>2</sup>
Білий лелека	6,3	3,5	2,2	0,55
Рожевий пелікан	8,4	5,1	3,0	0,67

Дані отримано на підставі усереднених власних промірів.

\* відносне подовження - це відношення між довжиною та шириною крила птаха.

У подальших розрахунках ми оперували величиною «фактор розмаху крил». Фактор розмаху крил – це коефіцієнт, що показує відхилення від еліптичного розподілу підйомної сили розмаху крила. На рис. 1-2 наведено графіки, що демонструють відношення вертикальної та горизонтальної швидкості.

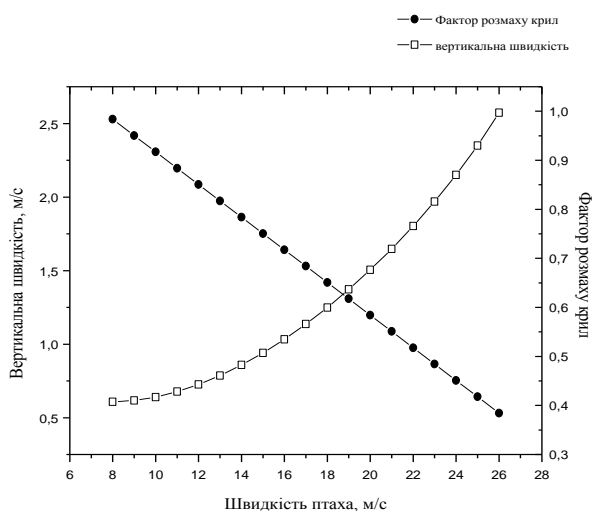


Рис. 1. Залежність між фактором розмаху крил, вертикальною швидкістю висхідних потоків повітря та швидкістю польоту лелеки білого.

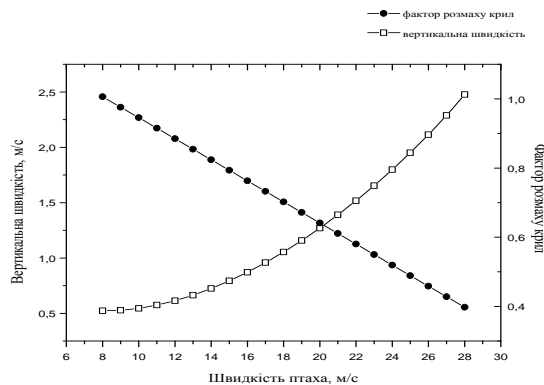


Рис. 2. Залежність між фактором розмаху крил, вертикальною швидкістю висхідних потоків повітря та швидкістю польоту пелікана рожевого.

У табл. 2-4 наведено результати прогностичного аналізу, виконаного за допомогою програми для модельних птахів, які мігрують у межах Чорноморсько-Середземноморського пролітного шляху, – лелеки білого та пелікана рожевого. Треба відзначити, що дані, отримані за допомогою програми, практично збігаються з експериментальними результатами та даними радіолокаційних спостережень, виконаних нами та іншими дослідниками (Henderstrom, 1997; Kerlinger, 1984; Liechti et al., 1996; Pennycuick, 1998; Schüz, 1951; Seber, 1968, 1982; Shannon et al., 2002; Spaar, Bruderer, 2007)

Таблиця 2. Основні характеристики польоту лелеки білого (тут і далі - за розрахунками програми «Flight»)

Параметр	Значення
Мінімальна швидкість ширяння, м/с	7,51
Відношення мінімальної швидкості ширяння до швидкості з мінімумом енергетичних затрат	0,52
Мінімальна швидкість у термальному потоці, м/с	8,00
Мінімальна швидкість висхідного потоку, м/с	0,61
Максимальна швидкість ширяння, м/с	12,5
Оптимальний фактор розмаху крил	16,6
Радіус обертання птаха в пошуках висхідного потоку (при швидкості висхідного потоку 1,4 м/с та куті крену 24°), м	18,2

Примітка. Мінімальна швидкість ширяння - «швидкість завалювання на крило», розрахована на підставі максимального підйомного коефіцієнта - коефіцієнта підйомної сили при куті крену 24°, що є типовим для великих за розмірами видів птахів. Радіус обертання птаха - круговий радіус, розрахований для порівняння здатності птахів відшукувати вузькі термальні потоки (рис. 3).

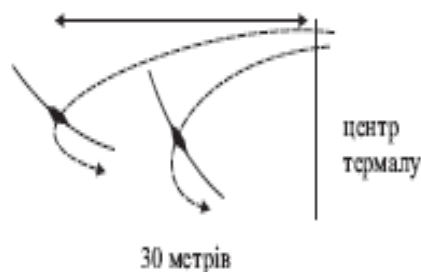


Рис. 3. Круговий радіус птаха, що дорівнює 30 м.

**Таблиця 3. Основні параметри швидкості польоту лелеки білого на міграції в межах Чорноморсько-Середземноморського пролітного шляху**

Вертикальна швидкість польоту при термального висхідного потоку, м/с	Оптимальна швидкість, м/с	Максимальна швидкість ширяння, м/с	Максимальна швидкість ширяння з мінімальними затратами енергії, м/с
0,5	15,9	5,27	5,03
1,0	18,8	8,06	7,15
1,5	21,2	10,0	8,34
2,0	24,0	11,6	9,09
2,5	24,3	12,9	9,61
3,0	25,3	14,1	10,0

Примітка. Максимальна швидкість ширяння – це краща швидкість ширяння між термальними потоками (Terrill, Able, 1988).

**Таблиця 4. Основні характеристики польоту пелікана рожевого**

Параметр	Значення
Мінімальна швидкість ширяння, м/с	8,21
Відношення мінімальної швидкості ширяння до швидкості з мінімумом енергетичних затрат	0,565
Мінімальна швидкість у термальному потоці, м/с	8,20
Мінімальна швидкість висхідного потоку, м/с	0,523
Максимальна швидкість ширяння, м/с	12,6
Оптимальний фактор розмаху крил	19,6
Радіус обертання птаха в пошуках висхідного потоку (при швидкості висхідного потоку 1,4 м/с та куті крену 24°), м	21,7



Таблиця 5. Основні параметри швидкості польоту пелікана рожевого на міграції в межах Чорноморсько-Середземноморського пролітного шляху

Вертикальна швидкість польоту при пошуках термального висхідного потоку, м/с	Оптимальна швидкість, м/с	Максимальна швидкість ширяння, м/с	Максимальна швидкість ширяння з мінімальними затратами енергії, м/с
0,5	16,4	5,84	5,51
1,0	19,8	8,86	7,70
1,5	22,7	10,9	8,82
2,0	25,1	12,7	9,54
2,5	26,8	14,1	10,0
3,0	28,0	15,4	10,4

## ВИСНОВКИ

Оптимальна швидкість дозволяє птахам виконувати польоти з більш крутим ширянням та більш короткою відстанню між термальними потоками. Час для пошуку наступного ефективного терміку (термального потоку) скорочується через збільшення швидкості, що, у свою чергу, скорочує середній підйом у термальних потоках, збільшує ризик не знайти відповідний термік.

При великих швидкостях ширяння птахи зменшують розмах крила та площу крил за рахунок згинання суглобів кінцівок. Це зменшує профільний опір та збільшує індуктивний опір. Профільний опір зростає, а індуктивний опір зменшується зі зростанням швидкості птаха. При ідеальних умовах птахи намагаються знайти таке положення розмаху крил, яке зменшує різницю між значеннями профільного та індуктивного опору (рис. 4).

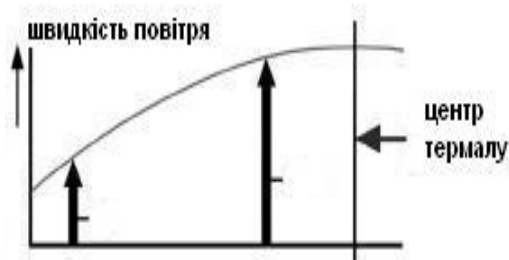


Рис. 4. Залежність швидкості птахів від їх положення відносно термального потоку

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Дольник В.Р. Биоэнергетика миграций / В.Р. Дольник, Т.И. Блюменталь // Успехи современной биологии. - 1964. - Т. 58. - С. 280-301.
- Дольник В.Р. Эколого-физиологические аспекты миграций птиц / В.Р. Дольник // Ориентация и миграции птиц. - М.: Наука, 1975. - С. 5-18.
- Мацюра О.В. Використання програми FLIGHT.BAS в дослідженні енергетичних особливостей міграційних польотів птахів / О.В. Мацюра // Наук. зап. Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. - 2005. - № 1-2 (25). - С. 45-47.
- Batschelet E. Circular statistics in biology / E. Batschelet. - Academic Press, London. - 1981. - 272 p.
- Henderstrom A. Predicted and observed migration speed in Lesser Spotted Eagle *Aquila Pomarina* / A. Henderstrom // *Ardea*. - 1997. - Vol. 85(1). - P. 29-35.
- Kerlinger P. Flight behavior of sharp-shinned hawks during migration. I: Over land / P. Kerlinger, S.A. Gauthreaux // *Animal Behaviour*. - 1984. - Vol. 32. - P. 1021-1028.
- Liechti F. Flight Behaviour of White Storks on their migration over southern Israel / F. Liechti, D. Ehrich, B. Bruderer // *Ardea*. - 1996. - Vol. 84. - P. 3-11.
- Liechti F. Predicting migratory flight altitudes by physiological migration models / F. Liechti, M. Klaassen, B. Bruderer // *Auk*. - 2000. - Vol. 117. - P. 205-214.
- Pennycuick C.J. Bird flight performance: a practical calculation manual / C.J. Pennycuick. - Oxford University Press, Oxford, - 1989. - P. 1-15.
- Pennycuick C.J. Field observations of thermals and thermal streets, and the theory of cross-country soaring flight / C.J. Pennycuick // *Journal of Avian Biology*. - 1998. - Vol. 29. - P. 33-43.
- Pennycuick C.J. Mechanics of flight / C.J. Pennycuick // *Avian Biology*. - 1975. - Vol. 5. - P. 1-75.
- Pennycuick C.J. Wingbeat frequency of birds in steady cruising flight: new data and improved predictions / C.J. Pennycuick // *J. Exp. Biology*. - 1996. - Vol. 199. - P. 1613-1618.
- Safriel U.N. Weight changes of cross-desert migrants at an oasis - do energetic considerations alone determine the length of stopover? / U.N. Safriel, D. Lavee // *Oecologia*. - 1988. - Vol. 76. - P. 611-619.
- Schüz E. Überblick über die Orentierungsversuche der Vogelwarte Rossitten (jetzt: Vogelwarte Radolfzell) / E. Schüz // *Proc. Int. Ornithol. Congr.* - 1951. - Vol. 10. - P. 249-268.
- Seber G.A.F. A review of estimating animal abundance / G.A.F. Seber // *Biometrics*. - 1968. - Vol. 1986. - P. 267-292.



- Seber G.A.F. The estimation of animal abundance and related parameters / G.A.F. Seber. - Griffin, London, 1982. - P. 46-57.
- Shannon H.D. American White pelicans soaring flight times and altitudes relative to changes in thermal depth and intensity / H.D. Shannon, G.S. Young, M.A. Yates // *The Condor*. - 2002. - Vol. 104. - P. 679-683.
- Spaar R. Optimal flight behavior of soaring migrants: a case study of migrating steppe buzzards, *Buteo buteo vulpinus* / R. Spaar, B. Bruderer // *Behavioral Ecology*. - 1997. - Vol. 8(3). - P. 288-297.
- Terrill S.B., Able K.P. Commentary: Bird migration terminology / S.B. Terrill, K.P. Able // *Auk*. - 1988. - Vol. 105. - P. 205-206.
- Welham C.V.J. Flight speeds of migrating birds: a test of the maximum range speed predictions from three aerodynamic equations / C.V.J. Welham // *Behavioral Ecology*. - 1994. - Vol. 5. - P. 1-8.

## REFERENCES

- Dolnik, V. R., & Blumenthal, T. I. (1964). Bioenergy migrations. *Successes of modern biology*, 58, 280-301.
- Dolnik, V. R., (1975). *Ecological and physiological aspects of bird migration. Orientation and migration of birds*. Moscow: Nauka.
- Matsyura, O. V. (2005). Using FLIGHT.BAS energy features in the study of migratory birds fly. *Scientific notes of Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology*, 1-2(25), 45-47.
- Batschelet, E. (1981). *Circular statistics in biology*. London: Academic Press.
- Henderstrom, A. (1997). Predicted and observed migration speed in Lesser Spotted Eagle *Aquila Pomarina*. *Ardea*, 85(1), 29-35.
- Kerlinger, P., & Gauthreaux, S. A. (1984). Flight behavior of sharp-shinned hawks during migration. *Over land Animal Behaviour*, 32, 1021-1028.

- 
- Liechti, F., Ehrich, D., & Bruderer, B. (1996). Flight Behaviour of White Storks on their migration over southern Israel. *Ardea*, 84, 3-11.
- Liechti, F., Klaassen, M., & Bruderer, B. (2000). Predicting migratory flight altitudes by physiological migration models. *Auk*, 117, 205-214.
- Pennycuik, C. J. (1989). *Bird flight performance: a practical calculation manual*. Oxford: Oxford University Press.
- Pennycuik, C. J. (1998). Field observations of thermals and thermal streets, and the theory of cross-country soaring flight. *Journal of Avian Biology*, 29, 33-43.
- Pennycuik, C. J. (1975). Mechanics of flight. *Avian Biology*, 5, 1-75.
- Pennycuik, C. J. (1996). Wingbeat frequency of birds in steady cruising flight: new data and improved predictions. *J. Exp. Biology*, 199, 1613-1618.
- Safriel, U. N., & Lavee, D. (1988). Weight changes of cross-desert migrants at an oasis - do energetic considerations alone determine the length of stopover? *Oecologia*, 76, 611-619.
- Schüz, E. (1951). Überblick über die Oreintierungsversuche der Vogelwarte Rossitten (jetzt: Vogelwarte Radolfzell). *Proc. Int. Ornithol. Congr.*, 10, 249 -268.
- Seber, G. A. F. (1968). A review of estimating animal abundance. *Biometrics*, 1986, 267-292.
- Seber, G. A. F. (1982). *The estimation of animal abundance and related parameters*. London: Griffin.



---

Shannon, H. D., Young, G. S., & Yates, M. A. (2002). American White pelicans soaring flight times and altitudes relative to changes in thermal depth and intensity. *The Condor*, 104, 679-683.

Spaar, R., & Bruderer, B. (1997). Optimal flight behavior of soaring migrants: a case study of migrating steppe buzzards, *Buteo buteo vulpinus*. *Behavioral Ecology*, 8(3), 288-297.

Terrill, S. B. Commentary: Bird migration terminology. *Auk*, 105, 205-206.

Welham, C. V. J. (1994). Flight speeds of migrating birds: a test of the maximum range speed predictions from three aerodynamic equations. *Behavioral Ecology*, 5, 1-8.