

А К А Д Е М И Я   Н А У К   С С С Р

---

PRIVATE LIBRARY  
OF WILLIAM L. PETERS

ЖУРНАЛ  
ЭВОЛЮЦИОННОЙ  
БИОХИМИИ  
И  
ФИЗИОЛОГИИ

ТОМ  
VI

*ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК*



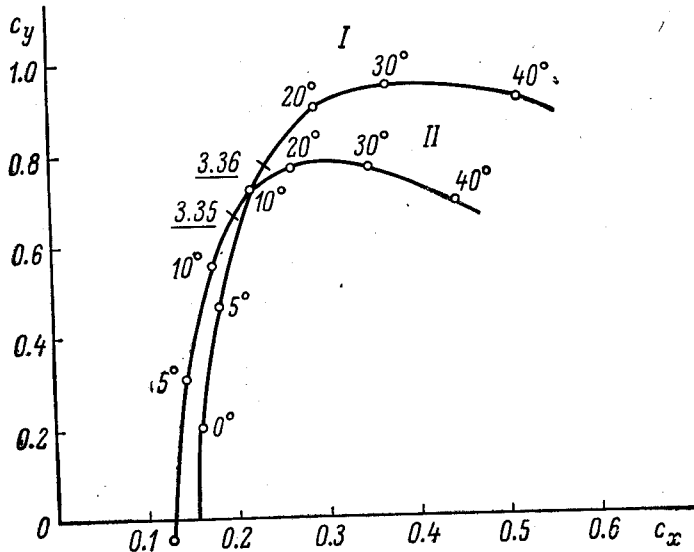
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
Ленинградское отделение

## О РОЛИ ГОФРИРОВКИ КРЫЛЬЕВ НАСЕКОМЫХ

А. Е. Бродский

Кафедра энтомологии Ленинградского гос. университета

Изучение аэродинамических качеств крыльев насекомых является неотъемлемой частью разработки проблемы машущего полета. Считалось, что крыло насекомых вследствие значительной толщины пограничного слоя (малые числа Рейнольдса и низкая скорость движения) представляет собой аэродинамически гладкую поверхность [1] и, следовательно, в управление потоком, обтекающим крыло, сенсорный механизм не вовлекается. Однако у некоторых насекомых были найдены специальные морфологические структуры, активно влияющие на характер обтекания крыла потоком воздуха [2]. Вместе с тем крылья многих примитивных насекомых лишены аналогичных структур. В связи с этим интересно выяснить, существует ли различие в аэродинамических качествах естественного крыла и гладкой динамически подобной крылу модели.



Полярные диаграммы переднего крыла поденки *Ephemera vulgata* (I) и динамически подобной ему модели (II).

Подчеркнутые цифры на кривых — наилучшие углы атаки с соответствующими значениями  $C_y/C_x$ . Остальные объяснения в тексте.

В качестве объекта исследования было выбрано переднее крыло поденки *Ephemera vulgata*. Число Рейнольдса, основанное на наибольшей хорде крыла и полетной скорости, принято равным 800. Модель, повторяющая формой и размерами естественное крыло, была изготовлена из магнитной ленты ТИП-6. Для измерения малых сил, действующих на крыло в потоке воздуха, была использована методика, предложенная Вогелем и Чэпменом [3], в которую были внесены некоторые изменения. В качестве измеряющего и регистрирующего приборов были взяты микроамперметры М-24 и М-325. Крыло или модель закреплялись на стрелке измерительного прибора и помещались в поток воздуха. Ламинарное движение воздуха обеспечивалось сконструированной для этой цели аэродинамической трубой (диаметр 17 см). Все измерения проводились при скорости потока 200 см/сек. Динамическое подобие крыла и модели поддерживалось постоянно.

Учет всех условий обтекания крыла в свободном полете связан с большими трудностями. Упрощения, неизбежные при данной методике эксперимента, можно разделить на три группы. Во-первых, скорость воздуха по крылу была постоянной во времени. Угол атаки был фиксирован для каждого данного значения, тогда как в свободном полете он меняется быстро и в широком диапазоне. Во-вторых, вместо градиента угла атаки и скорости по длине крыла, эти параметры задавались постоянными. В-третьих, в условиях свободного полета направление потока воздуха не всегда перпендикулярно к ведущему краю крыла, как это было в нашем случае.

Результаты измерений (см. рисунок) показывают, что естественное крыло значительно превосходит модель по демонстрируемой подъемной силе, но модель испы-

тывает меньшее по сравнению с крылом сопротивление. Наивыгоднейшие углы атаки крыла и модели близки друг к другу; им соответствуют равные отношения коэффициента подъемной силы ( $C_y$ ) к коэффициенту сопротивления ( $C_x$ ). Оба профиля подвержены срыву потока, что соответствует положению, занимаемому ими в шкале чисел Рейнольдса. Важно, что срыв потока выражен менее заметно в случае естественного крыла. Расстояние от наивыгоднейшего угла атаки до критического больше для полярной диаграммы естественного крыла. Так как крыло и модель динамически подобны, то, очевидно, различие в аэродинамических качествах обусловлено морфологическими структурами, которые отсутствуют у модели. Крыло поденки лишено каких-либо щетинок, шипов, выростов, и единственно гофрировка значительно отличает крыло от модели (жилкование скрыто гофрировкой, а выпуклость крыла выражена слишком слабо). Если складки крыловой пластинки находятся внутри пограничного слоя, то профиль крыла будет толще профиля модели. И это обстоятельство сказывается в расхождении результатов измерения. Если же гофрировка выступает за пограничный слой, то превосходство в аэродинамических данных крыла над моделью объясняется воздействием складок крыла на обтекающий поток. Результатом этого воздействия является, как видно, некоторое увеличение сопротивления и отодвигание срыва потока в область больших углов атаки. Диапазон летных углов при этом расширяется.

Толщина пограничного слоя определяется по формуле [4]

$$\delta = 3.4 \sqrt{\frac{x\mu}{\rho v}}$$

где  $x$  — расстояние от ведущего края,  $v$  — скорость потока,  $\rho$  — плотность среды,  $\mu$  — вязкость среды. Расчеты показывают, что радиальная жилка вследствие гофрировки уже при скорости 100 см/сек выступает за пределы пограничного слоя. Необходимо учитывать, что в течение взмаха скорость движения крыла существенно меняется и, следовательно, меняется эффект гофрировки. Очевидно, в цикле взмаха крыла могут существовать моменты, когда гофрировка лежит внутри пограничного слоя, и моменты, характеризующиеся высокими скоростями, когда имеет место непосредственное воздействие складок крыловой пластинки на воздушный поток.

Таким образом, роль гофрировки в полете не ограничивается только созданием повышенной механической прочности крыловой пластинки. И, следовательно, активное участие гофрировки в управлении потоком необходимо учитывать при анализе аэродинамических качеств крыльев насекомых.

### Литература

- [1] J. W. S. Pringle. *Insect Flight*. Univ. Press, Cambridge, Engl. (1957). — [2] S. Vogel, *J. Exper. Biol.* 46, 431 (1967). — [3] S. Vogel, R. D. Chapman, *Rev. Sci. Instrum.*, 37, 520 (1966). — [4] L. Prandtl. *Fluid Dynamics*. New York (1952).

Поступила 10 III 1970

## ON THE ROLE OF PLEATING OF INSECT WINGS

A. K. Brodskii

Chair of Entomology, University, Leningrad

### SUMMARY

Comparison of aerodynamic characteristics of a may-fly wing and its model indicates that pleating essentially affects flight properties of a natural wing.

### EXPLANATION TO FIGURE

Polar diagrams of a forewing of *Ephemera vulgata* (I) and its dynamic model (II).