

Ю. М. ЗАЛЕСКИЙ

НОВОЕ О ПОЛЕТЕ БАБОЧЕК

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 12 III 1951)

Наблюдения над полетом насекомых и его экспериментальное исследование могут дать основательные результаты только в том случае, если будут основаны не на визуальных наблюдениях, как это мною (1-3) практиковалось до сих пор, а будут контролироваться более совершенными методами.

Давно уже применялась моментальная фотография при изучении движений крыльев насекомых (14-17). Однако применявшаяся при этих съемках аппаратура не позволяла производить съемку летающих насекомых, а ею снимались закрепленные на месте или заключенные в тесный стеклянный сосуд насекомые, движения крыльев которых, естественно, отличны от тех, которые насекомые производят летая. Сверхскоростная киносъемка летающих насекомых методически более правильна. Для этой цели пригодны лупы времени и подобные им киносъемочные аппараты.

Летом 1951 г. под моим руководством была произведена скоростная киносъемка полета\* некоторых насекомых — стрекоз, бабочек и двукрылых. Съемка обычно велась со скоростью 2000 кадров в секунду и получалась серия снимков на киноленте, которую можно просматривать на экране, демонстрируя в замедленном относительно скорости съемки движении. Некоторые насекомые снимались в относительно свободном полете, будучи привязанными за брюшко на нитке по методу, изложенному мною ранее (3). Большинство насекомых снималось при совершенно свободном полете в инсектарии со стеклянными стенками.

Здесь даются только краткие сведения о съемке полета *Lepidoptera*.

Киносъемка таких обычных *Rhopalocera*, как адмирал *Pyrameis atalanta* L. и крапивница *Vanessa urticae* L., показала, что для полета этих бабочек совсем не обязательна встреча крыльев над и под телом (4) — наоборот, как правило, этого вовсе не наблюдается.

При просмотре замедленных движений полета бабочек на экране и отдельных кадров сверхскоростной киносъемки\*\* обнаруживается, что во время взмахов по крыльям пробегает волна, направленная от переднего, костального края крыла к заднему, т. е. поперек крыла (см. рис. 1 и 2). Благодаря тому, что переднее и заднее крылья бабочек, как известно, соединены между собой при помощи специальных приспособлений (сцепочных аппаратов), волна пробегает непосредственно от переднего крыла к заднему. Получается нечто подобное тому, что наблюдается у плоских донных рыб — скатов (*Rajidae*), когда они плавают и по их широкому, расположенному по бокам плавникам пробегает волна.

\* Съемка производилась операторами В. В. Лебедевым и В. Б. Шапошниковым.

\*\* Съемка бабочек производилась в инсектарии при освещении софитами.

Эти волны у бабочек или сравнительно часто следуют одна за другой так, что одновременно можно наблюдать несколько гребней (рис. 1, кадры 3, 4 и 5 и рис. 2, кадр 2), пробегающих по крылу, или волна оказывается длинной и иногда виден только один гребень (рис. 1, кадры 8, 9 и 10). Расстояния между гребнями пробегающих волн, если их несколько, бывают различны: у наблюдавшихся дневных бабочек *Rhopalocera* (адмирал и крапивница) они реже и сами волны больше,

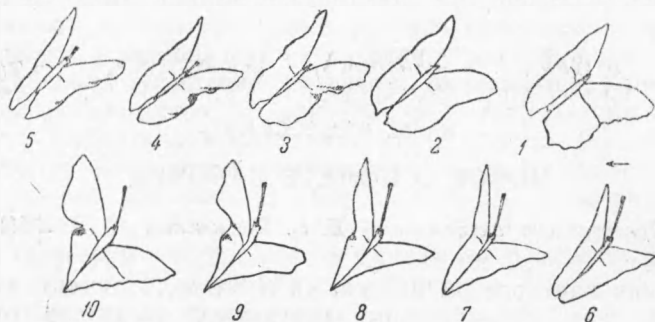


Рис. 1. Зарисовки через кадр киносъемки полета бабочки адмирала, вид со спинной стороны, 3, 4, 5 — волна пробегает по правой паре крыльев; 7, 8, 9 и 10 — возникновение и увеличение крутизны волны на левой паре крыльев. Стрелка и цифры на этом и на остальных рисунках показывают направление последовательности кадров

у высших ночных *Metaheterocera* (сем. Noctuidae, совки: *Agrotis* (= *Euxoa*) *tritici* L. и *Jaspidea celsia* L.) они чаще и мельче.

Интересно, что дневные бабочки в отдельных случаях могут осуществлять поворот всем телом в воздухе, не производя взмаха крыльями, при этом только по одной паре крыльев пробегает волна и крыло колеблется, как обдуваемая ветром драпировка, тогда как другая пара

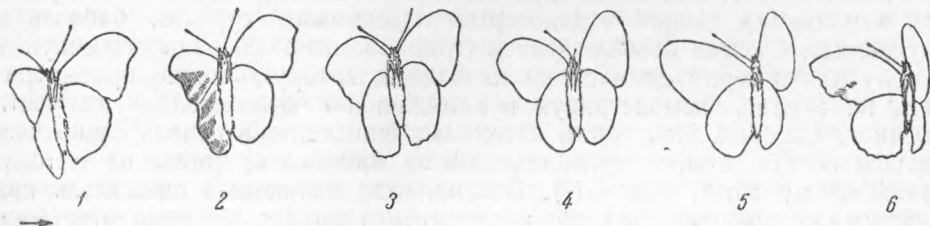


Рис. 2. Зарисовки через два кадра с киносъемки полета адмирала, вид с брюшной стороны. Направление поворота бабочки совпадает с направлением стрелки. 2 — волны на правой паре крыльев

крыльев неподвижна (см. рис. 2). Очевидно, что с волнообразно колеблющейся пары крыльев (рис. 2, кадры 1 и 2) сбегает назад и слегка вбок воздушная волна, которая создает реактивную силу и тягу, чего не происходит в неподвижной паре крыльев, отчего тело бабочки поворачивается в сторону неподвижной пары крыльев.

Известно, какое значение имеет волнообразное изгибание тела рыб и некоторых других водных животных для создания поступательного движения<sup>(5)</sup>. Несомненно, что не только простой взмах крыльями создает аэродинамические силы, необходимые для продвижения бабочки в воздухе, но и волна, пробегающая по крылу, очевидно, связана с образованием воздушной волны, пробегающей у поверхности крыла, которая, сбегая назад и действуя реактивно, должна создавать тягу. Возможно, что подъемная сила у бабочек создается исключительно за счет взмаха, тяга же создается в значительной степени также и за счет волнообраз-

ного движения крыльев. Совершенно неясно пока, каким образом создается это волнообразное движение: как результат ли изгибания пластинки крыла в силу действия на основания его жилок сил, происходящих от грудной мускулатуры, или же в результате взмаха и взаимодействия аэродинамических сил у поверхности крыла, в пограничном слое воздуха, в чем, возможно, принимают участие одевающие крылья бабочек чешуйки. Несомненно только, что аэродинамическая роль чешуек на крыльях и теле бабочек весьма велика\*.

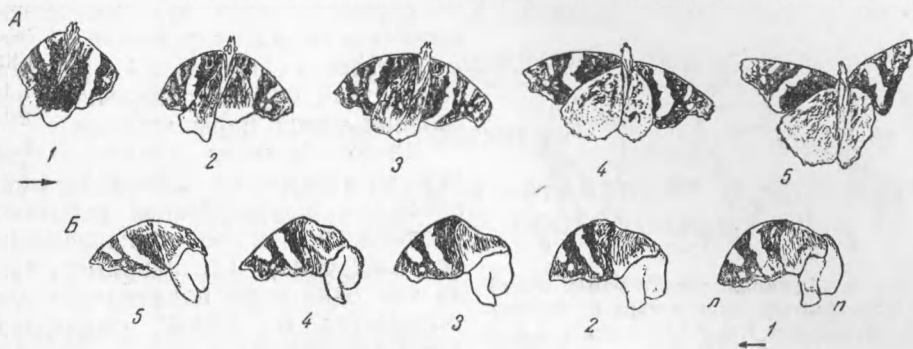


Рис. 3. А — вид с брюшной стороны летящего адмирала. Зарисовки через два кадра. 1 — крылья опущены вниз, далее крылья каждой пары в различном положении и с разной скоростью поднимаются вверх. Б — горизонтальный полет адмирала. Зарисовки через два кадра. Л — левая и П — правая (ярко освещенная) пара крыльев

Теория машущего крыла, разработанная В. В. Голубевым (7, 8), допускает, что в крайних положениях крыла, производящего возвратно-поступательные колебания с одинаковой скоростью опускания и поднятия, от крыла отделяются вихри, образующие в воздухе позади него вихревую дорожку. Образование и усиление этих вихрей происходит в пограничном слое в период перехода крыла из одного крайнего положения в другое. Как это обстоит у насекомых, пока сказать затруднительно, тем более, что, как известно, у некоторых насекомых подъем крыла происходит скорее, чем опускание (9). Какова картина именно у бабочек, пока неизвестно, однако, весьма возможно, что теория В. В. Голубева отчасти применима здесь, но с уточнениями и поправками, вытекающими из особенностей полета бабочек.

Интересен случай волнообразной деформации профиля, излагаемый в теории крыла в нестационарном потоке (10), когда профиль не будет твердым и движется при определенной вертикальной скорости среды (жидкость или вертикальный поток воздуха). Значение этой вертикальной скорости среды распространяется от передней кромки профиля к задней закономерно, с определенной скоростью. Опускающиеся крылья бабочек при полете испытывают давление нижележащего воздуха, который давит на крыло не всегда правильно, но все же вверх, с определенной силой, пропорциональной скорости опускания крыла. Таким образом, при этом создаются условия, аналогичные упомянутому случаю волнообразной деформации не вполне твердого профиля.

Интересно у бабочек поперечное изгибание крыльев при взмахах вниз, т. е. изгибание в плоскости, перпендикулярной поперечной оси крыла. На рис. 3, Б изображено несколько зарисовок с кадров, где представлен момент опускания крыльев вниз. Как можно заметить,

\* Известно, что для небольших самолетов (с хордой крыла в 1500 мм) изменение шероховатости поверхности крыльев в несколько микронов вносит существенные аэродинамические отличия (6). Раз для таких больших сооружений, как самолеты, такие незначительные изменения шероховатости имеют большое аэродинамическое значение, тем более всякая шероховатость у насекомых и, в частности, чешуйчатый покров крыльев бабочек должен иметь очень большое значение в аэродинамике их полета.

крылья куполообразно изогнуты по бокам тела, которого не видно из-за выпуклости этого «купола» левой пары крыльев. Это напоминает изгибание крыльев у птицы, особенно ярко выраженное в момент их опускания (11, 12). При просмотре этого места на экране хорошо заметна пробегающая поперек куполообразно изогнутых крыльев волна, сбегаящая назад. Эта часть полета бабочки протекала горизонтально на небольшой высоте над полом инсектария и парашютообразно — «куполом» — изогнутые крылья, возможно, осуществляли торможение, что птицы часто применяют перед посадкой. Как осуществляется это поперечное

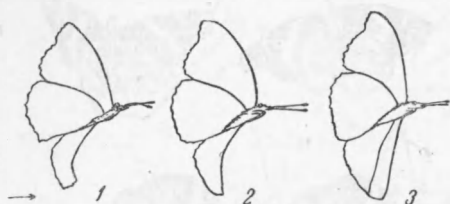


Рис. 4. Адмирал делает взмах левой парой крыльев, правая пара неподвижна. Зарисовки 1 и 2 через кадр, а 3 — через два кадра

изгибание крыльев у бабочек — пока неизвестно. На рис. 4 представлен другой случай поперечного изгибания левой пары крыльев.

Часто обе пары крыльев — правая и левая — во время полета адмирала и крапивницы работают неодинаково и не одновременно (не синхронно). Так например, тогда как одна пара поднимается или опускается с одной скоростью, другая пара от нее отстает (рис. 3, А) или остается вовсе неподвижной (рис. 4). Если одна пара при

этом не дает никаких особенных изгибов, то вторая сильно изгибается и искажена пробегающей волной.

Крылья адмирала и крапивницы, как известно, по краям изрезаны. Однако на ряде кадров контуры крыльев кажутся ровными. Это, видимо, объясняется тем, что когда волны по своей длине совпадают с размерами изгибов края крыла, то он в сокращении кажется ровным (рис. 2). Возможно, что краевая изрезанность крыльев бабочек является аэродинамически оправданной, облегчая сбегание волн и вихрей с края крыла. Этим же может быть объяснено и наличие вытянутых хвостобразных выступов на задних крыльях некоторых бабочек, например у парусников (Parilionidae). Возможно, эти выступы облегчают плавное соскальзывание или срыв образующихся при взмахах волн и вихрей, подобно тому, как это предполагается для лентовидных маховых перьев птицы — выппелевого козодоя (13).

Поступило  
16 XII 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Ю. М. Залесский, ДАН, 66, № 1 (1949). <sup>2</sup> Ю. М. Залесский, Природа, № 9 (1950). <sup>3</sup> Ю. М. Залесский, Природа, № 3 (1951). <sup>4</sup> Б. Н. Шванвич, Курс общей энтомологии, М. — Л., 1949. <sup>5</sup> В. В. Шулейкин, Очерки по физике моря, изд. АН СССР, 1949. <sup>6</sup> А. К. Мартынов, Экспериментальная аэродинамика, М., 1950. <sup>7</sup> В. В. Голубев, Докл. общ. собран. АН СССР 14—17 окт. 1944 г., М., 1945. <sup>8</sup> В. В. Голубев, Изв. АН СССР, ОТН, № 5 (1946). <sup>9</sup> И. И. Швайковский, ДАН, 17, № 1—2 (1937). <sup>10</sup> А. И. Некрасов, Теория крыла в нестационарном потоке, изд. АН СССР, 1947. <sup>11</sup> Н. А. Гладков, Биологические основы полета птиц, М., 1949. <sup>12</sup> М. К. Тихонов, Полет птиц и машины с машущими крыльями, М., 1949. <sup>13</sup> И. Н. Виноградов, Аэродинамика птиц парителей, М., 1951. <sup>14</sup> E. Marey, C. R., 113 (1891). <sup>15</sup> D. Bull, Travaux Ass. Inst. Marey, 2 (1910). <sup>16</sup> A. Magnan, Le vol des insectes, Paris, 1934. <sup>17</sup> R. V. Lendenfeld, Biol. Cbl., 23, No. 6 (1903).