

## ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ВЫСОКИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

В 1946—1947 гг. на испытательном полигоне Уайт-Сендс, расположенном на  $33^{\circ}$  северной широты и  $105^{\circ}$  западной долготы в пустынном районе штата Нью-Мексико (США), был осуществлён ряд полётов германских ракет V-2, специально оборудованных для проведения научных исследований на больших высотах. Опубликованные данные крайне скудны и сводятся к нескольким заметкам явно предварительного характера.

Измерения давления производились во время двух полётов: 10 октября 1946 г.<sup>1</sup> и 7 марта 1947 г.<sup>2</sup> Для этой цели на ракетах были установлены манометры, показания которых передавались по радио на саморегистрирующую станцию, находившуюся на земле.

Давление на малых высотах измерялось расположенными в хвостовой части ракеты манометрами, представлявшими собой сильфонный мех, перемещение которого передавалось на потенциометр. Манометры были расчи-

таны на интервал давлений от 760 до 10 мм ртутного столба. В полёте 10 октября манометр сломался при давлении 100 мм Hg (около 12 км высоты), вероятно, вследствие резонанса с вибрациями ракеты.

Как указывают авторы, немецкие измерения, производившиеся в аэродинамической трубе, показали, что при скоростях порядка 1,5 км/сек (скорость, близкая к скорости ракеты) манометр, расположенный в хвостовой части ракеты, должен показывать давление примерно на 10% меньше, чем давление окружающей среды. Измерения давления на малых высотах были сопоставлены с данными, полученными на основании шар-зондовых измерений, и оказались в хорошем согласии с ними. Расхождение имело место только для высот около 4—5 км, что соответствует моменту, когда скорость ракеты достигает скорости звука (число Маха = 1). Указанное совпадение служит прямым доказательством возможности и точности измерения давления указанным образом.

Для измерения давлений на больших высотах — от 2 до  $10^{-3}$  мм Hg — использовались манометры Пирани с платиновой и вольфрамовой проволокой. Последние представляли собой обычные сигнальные лампочки накаливания (6 ватт, 110 вольт), в баллонах которых были проделаны отверстия для сообщения с внешней атмосферой. Манометры эти располагались в хвостовой части ракеты, причём было установлено, что рыскание ракеты (составлявшее около  $15^\circ$  на высоте 110 км) и её вращение (с периодом около 40 сек) не сказываются на показаниях манометров.

В полёте 10 октября ещё одна группа манометров Пирани размещалась в отсеке внутри конуса с углом  $13^\circ$  при вершине, с образующего нос ракеты. Отсек этот сообщался с внешней атмосферой через группу отверстий, кольцом охватывавших поверхность конуса. Расчёты, базировавшиеся на теории и экспериментальных исследованиях Тейлора и Макколя, показали, что давление на стороне такого конуса при скоростях порядка 1,5 км/сек должно быть примерно в 1,8 раза выше окружающего давления. Однако в действительности показания обеих групп манометров (как на носу ракеты, так и в кормовой её части) почти совпали, что остаётся необъяснённым и, по мнению авторов, „наиболее удивительным“, ибо ожидавшееся расхождение (в 1,8 раза) значительно превышает, по оценкам авторов, и погрешности расчёта, и погрешности измерений.

Данные, полученные 10 октября 1946 г., показаны на рис. 1. Для сравнения приведены кривые, соответствующие средней стандартной атмосфере, как она представляется по данным косвенных методов. Хорошее совпадение кривых показывает, насколько успешными оказываются косвенные методы исследования.

В полёте 7 марта 1947 г., наряду с манометрами Пирани, был использован манометр Филиппа, рассчитанный на интервал давлений  $10^{-3}$ — $10^{-5}$  мм ртутного столба (интервал высот 100—120 км) и установленный на конической головке ракеты с углом  $15^\circ$  при вершине. Его показания редуцированы к окружающему давлению на основании теории Тейлора и Макколя, причём было выяснено, что на высоте 110 км ракета находилась в условиях, для которых эта теория справедлива.

Результаты измерений 7 марта приводятся на рис. 2. Здесь же приводится кривая лобового давления. Авторы отмечают, что после внесения поправок на инертность манометров Пирани, составляющих около 1,5 секунды (что соответствует интервалу высот около 2 км), данные 10 октября совпали с данными 7 марта для высоты 60 км, но для высоты 80 км оказались несколько выше. Авторы полагают, что это может быть сезонным эффектом.

Следует отметить, что данные, полученные описанным образом, помимо довольно значительных погрешностей, связанных с неточным учётом аэродинамических факторов, могут содержать и погрешности, связанные с чувствительностью применявшихся манометров к изменениям температуры как

самого манометра, так и измеряемого воздуха, а также их чувствительностью к изменениям состава воздуха (например, диссоциации). Какие из этих факторов учтены и насколько основательны данные, лежащие в основе такого учёта, — авторы не сообщают. Можно думать, что необходимость

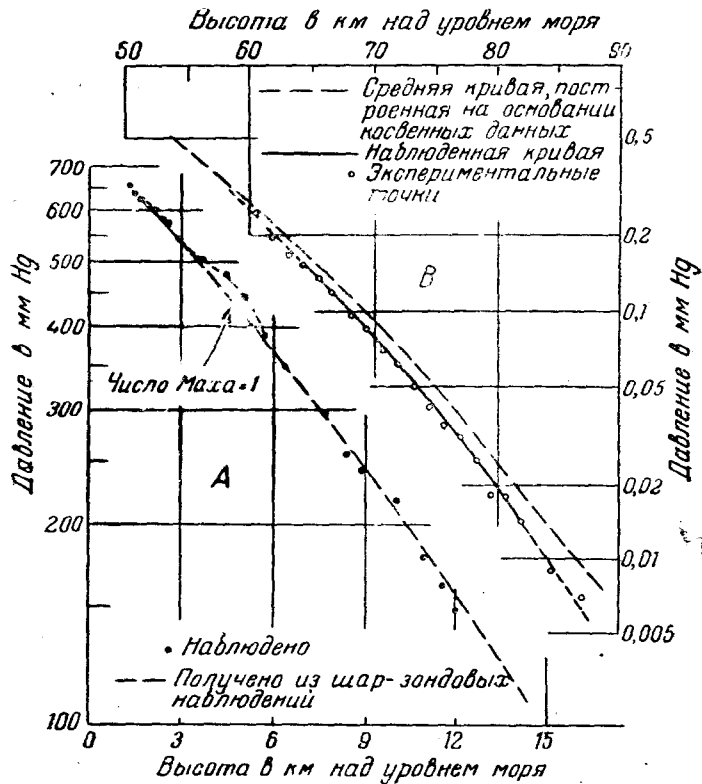


Рис. 1. Измерения давления 10 октября 1946 г.

А — на малых высотах, с помощью сильфонного манометра (нижняя и левая шкалы). В — на больших высотах, с помощью платинового манометра Пигани (верхняя и правая шкалы).

введения таких поправок является одним из наиболее слабых мест описанных измерений. •

Сведения о температуре высоких слоёв атмосферы по данным 7 марта 1947 г. показаны на рис. 3. Они получены двояким путём. Во-первых, непосредственно из градиента давления (опираясь на барометрическую формулу и уравнение состояния) и, во-вторых, из скорости звука. Скорость звука, в свою очередь, определялась из скорости ракеты, исчисленной на основании радарных измерений, и числа Маха, определяемого из соотношения между внешним давлением и лобовым давлением. Результаты прямых измерений температуры воздуха — такие измерения, повидимому, ставились — не приводятся. Авторы оценивают погрешность в определении температуры следующим образом:  $\pm 15^\circ$  в интервале высот 50—60 км,  $\pm 15^\circ$

в интервале высот 65—70 км,  $\pm 20^\circ$  на высоте 72,5 км и  $\pm 40^\circ$  выше 100 км. Для высот между 10 и 20 км определённая таким образом температура оказалась на 5—20° ниже действительной (определённой из шар-зондовых наблюдений), что авторы объясняют бедностью радарных данных для этого интервала высот. Отметим, что данные о температуре, полученные различ-

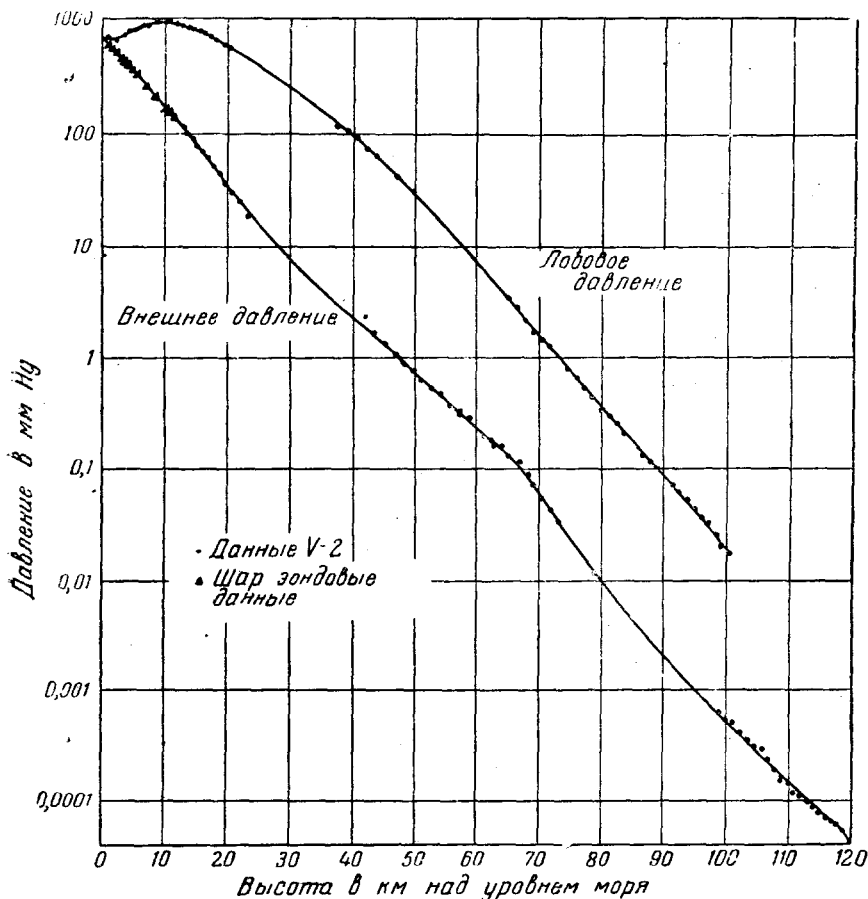


Рис. 2. Внешнее и лобовое давление в функции высоты, по измерениям 7 марта 1947 г.

ными методами, приводятся для различных высот (см. рис. 3), что свидетельствует, очевидно, о несколько тенденциозном отборе. Данные для 10 октября довольно значительно отличаются от данных для 7 марта, что рассматривается авторами как сезонный эффект.

Общие контуры кривой температура — высота определяются из ракетных данных вполне отчетливо и, так же как в случае кривой давление — высота, довольно хорошо соответствуют тем представлениям, которые сложились на основании косвенных измерений (сплошная кривая на рис. 3 со-

ответствует средней стандартной атмосфере и построена на основании косвенных измерений).

Таким образом, опубликованные донные данные ракетных исследований в общем подтверждают ту картину строения верхних слоёв атмосферы, которая была выявлена за последние годы с помощью косвенных методов исследования (и которая столь радикально отличается от предполагавшейся

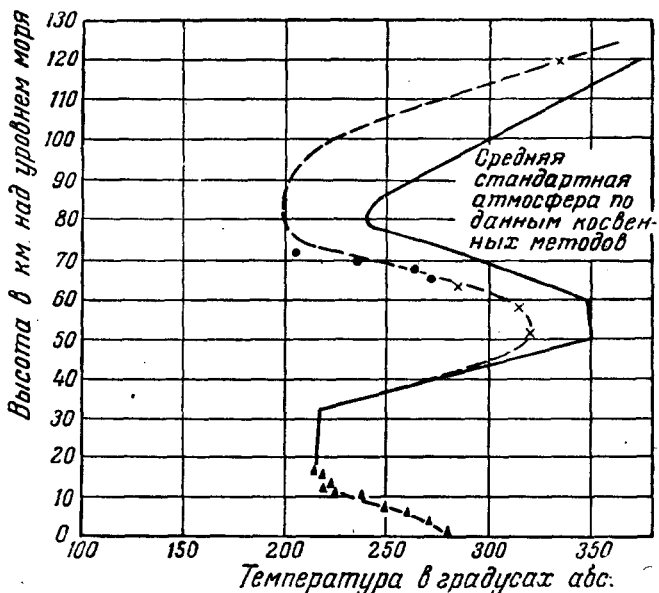


Рис. 3. Температура в функции высоты (7 марта 1947 г.). Крестики означают данные, вычисленные непосредственно из градиента давления; чёрные кружки — данные, вычисленные на основании измерений лобового давления; треугольники — данные шар-зондовых измерений.

ранее) и не внесли в нее ничего существенно нового. Отдельные уточнения остаются ещё недостаточно достоверными, тем более, что ракетные измерения отнюдь не являются пока безукоризненными. Несомненно, однако, что реактивные снаряды, позволяя поднять физические приборы (правда, очень кратковременно) на недостижимые ранее высоты, становятся важным средством исследования высоких слоёв атмосферы и позволяют получить ряд характеристик, недоступных для косвенных методов.

Естественно, возникает вопрос: что нового вносит появление столь мощного средства непосредственного исследования высоких слоёв атмосферы в наше отношение к косвенным методам? Не отпадает ли необходимость в их развитии и усовершенствовании? Конечно, косвенные методы не везде могут конкурировать с непосредственными измерениями. Однако круг вопросов, доступных исследованию с помощью ракет, время от времени забрасываемых на большие высоты, значительно уже, чем круг вопросов, доступных для исследования косвенными методами, особенно если учесть высокую стоимость ракетных исследований, придающую им характер уникальности. Достаточно указать, например, на вопросы сезонных или суточных вариаций тех или иных параметров. Напротив, прямые измерения могут служить прекрасным контролем правомерности тех гипотез, которые кладутся

В основу косвенных методов, полностью снимая тем самым некоторую неуверенность, присущую косвенным методам в отсутствие такого контроля. Таким образом ракетные исследования создают твёрдую почву для развития косвенных методов, значительно расширяя вместе с тем их возможности. Следует отметить, что в развитии косвенных методов исследования высоких слоев атмосферы выдающаяся роль, а в ряде вопросов и приоритет, принадлежит советским учёным.

*Г. Розенберг*

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. N. R. Best, E. Durand, D. Gale and R. J. Havens, Phys. Rev., 70, 985 (1946).
  2. N. Best. R. Havens and H. LaGow, Phys. Rew., 71, 915 (1947).
-