

## Изучение зависимости атмосферного давления от высоты

### Цель работы

Целью работы являются:

- 1) измерение атмосферного давления с помощью датчика атмосферного давления (барометра);
- 2) демонстрация зависимости атмосферного давления от высоты.

### Метод экспериментального исследования явления

В работе измеряется атмосферное давление при неизменном положении барометра, а также при его перемещении по вертикали в пределах классной комнаты. Тем самым проверяется зависимость атмосферного давления от высоты. Высота расположения барометра измеряется с помощью датчика расстояния.

### Теория

*Атмосферным давлением* называется давление, оказываемое атмосферой на все находящиеся в ней тела. Атмосферное давление зависит от погодных условий и высоты места наблюдения. В нормальных условиях на уровне моря высота столба ртути в ртутном барометре составляет 760 мм, что соответствует атмосферному давлению 101 352 Па. С подъемом барометра высота столба ртути уменьшается. Изменение атмосферного давления с увеличением высоты происходит по довольно сложному закону. Это объясняется тем, что воздух (как и любой газ) является сжимаемой средой и его плотность зависит от давления и температуры. Тем не менее на малых высотах над поверхностью Земли плотность воздуха практически не изменяется. Следовательно, для вычисления давления  $p$  воздуха на высоте  $h$  можно воспользоваться формулой, справедливой для жидкостей, а именно,

$$p = p_0 - \rho gh$$

где  $p_0$  — давление воздуха у поверхности Земли;  $g$  — ускорение свободного падения (9,8 м/с<sup>2</sup>);

$\rho$  — плотность воздуха (при нормальных условиях  $\approx 1,3$  кг/м<sup>3</sup>). Из этой формулы следует, что при подъеме на высоту  $h$  атмосферное давление уменьшается на 13 Па. График ожидаемой зависимости атмосферного давления от высоты изображен на рисунке.



### Контрольные вопросы

1. Каковы причины возникновения атмосферного давления?
2. Чему равно нормальное атмосферное давление? Какие единицы измерения давления вы знаете?
3. Как изменяется атмосферное давление с высотой вблизи поверхности Земли? Как объяснить это явление?
4. Зависит ли модуль силы атмосферного давления от ориентации площадки, на которую эта сила действует? Зависит ли направление этой силы от ориентации площадки?
5. От чего зависят суточные изменения атмосферного давления?

### Оборудование экспериментальной установки

Датчик атмосферного давления (барометр):

Датчик расстояния:



## Параметры экспериментальной установки

### Длительность проведения эксперимента

Рекомендуется провести два-три опыта по измерению зависимости атмосферного давления от высоты. Все измерения могут быть проведены за 2–3 мин. Опыт по измерению зависимости атмосферного давления от времени выполняется в течение длительного времени. Предельно допустимое время проведения измерений 27 ч. На обсуждение содержания эксперимента и его результатов, ответы на вопросы во время выполнения измерений и после их окончания отводится 10–30 мин.

### Точность измерений

При строгом следовании рекомендациям разделов «Монтаж и настройка», «Подготовка приборов» и «Методика выполнения эксперимента» данный эксперимент позволяет зарегистрировать изменение атмосферного давления при увеличении высоты с точностью до 15% (до 1,5 Па/м).

### Техника безопасности

Во время проведения эксперимента необходимо соблюдать все правила техники безопасности, указанные для персонального компьютера как электрического оборудования. Используемое измерительное оборудование (система сбора данных, датчик расстояния, датчик атмосферного давления) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека. Мощность и частота ультразвука, испускаемого датчиком расстояния, также не представляют опасности для человека. Для регистрации атмосферного давления в течение 27 ч можно оставить экспериментальную установку без присмотра (в самостоятельном рабочем режиме). В этом случае необходимо соблюдать все требования техники безопасности, обеспечивающие безопасность работы оборудования.

### Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Опыт следует проводить в месте классной комнаты, позволяющем обеспечить хороший обзор проведения эксперимента для каждого ученика. Для обеспечения удобства управления демонстрацией эксперимента компьютер необходимо располагать достаточно близко от установки (на расстоянии не более 1,5 м). Экран компьютера рекомендуется продублировать с помощью проектора.

Для обеспечения наглядности демонстрации и получения более точных результатов измерений рекомендуется поднимать датчик атмосферного давления на высоту не менее 2 м.

### Монтаж и настройка

В данной работе датчик расстояния размещается на полу так, чтобы в радиусе не менее 0,5 м от него не было посторонних предметов (края стола, стульев и т. п.). Для демонстрации зависимости атмосферного давления от высоты достаточно поднять барометр над датчиком расстояния на высоту 2 м. Оба датчика подключаются к системе сбора данных, а та, в свою очередь, к компьютеру.

### Подготовка приборов

Перед началом проведения эксперимента необходимо выполнить следующее:

Внимательно прочитайте инструкции, подготовьте необходимое оборудование, соберите установку в соответствии с разделом «Монтаж и настройка».

Подключите систему сбора данных SensorLab к компьютеру с помощью USB кабеля.

Подключите датчик атмосферного давления к любому аналоговому входу системы сбора данных.

Подключите датчик расстояния к цифровому входу системы сбора данных.

Убедитесь, что датчик правильно регистрирует расстояние до ближайшего объекта (расположенного не ближе 20 см).

### Методика выполнения эксперимента

В работе предлагается провести два отдельных исследования: проверить зависимости атмосферного давления от времени и от высоты.

#### Изучение зависимости атмосферного давления от времени



Данные измерения рекомендуется выполнять в течение длительного времени (в течение одного или нескольких уроков). Интересно зарегистрировать изменение атмосферного давления до грозы, во время грозы и после грозы и продемонстрировать его ученикам.

#### Проведение измерений

Нажмите кнопку **Пуск**.

Программа начнет измерение атмосферного давления и регистрацию данных с частотой 1 Гц. Предельно допустимое время проведения измерений 27 ч. При превышении этого времени ранее записанные данные теряются.

Чтобы остановить измерения, нажмите кнопку **Стоп**.

При повторном нажатии кнопки **Пуск** измерения будут продолжены и результаты будут выводиться на том же графике.

Очистка графика на экране дисплея происходит только при закрытии программы.

#### Анализ результатов

Обратите внимание учащихся на диапазон изменения атмосферного давления за время проведения эксперимента. Расскажите об атмосферных явлениях, происходивших за это время. Объясните, почему человек чувствует изменение атмосферного давления, даже весьма значительное (более 1000 Па), только по косвенным признакам (в основном по влиянию на самочувствие).

### Изучение зависимости атмосферного давления от высоты

#### Проведение измерений

Положите датчик расстояния на пол классной комнаты так, чтобы зона действия прибора была направлена вертикально вверх.

Поместите датчик атмосферного давления (барометр) над датчиком расстояния на высоте примерно 15 см. Убедитесь, что датчик расстояния правильно определяет расстояние до барометра. Для более надежной регистрации высоты барометра можно установить его на книгу или в коробку.

Нажмите кнопку **Пуск**. После этого начнется регистрация данных, а название кнопки изменится на **Стоп**.

Плавно (без рывков) поднимите датчик атмосферного давления на высоту 1,5– 2 м. Подъем датчика должен продолжаться в течение 10–15 с. При меньшем времени подъема будет зарегистрировано недостаточное для обработки количество точек, при большем времени подъема достоверность измерений может быть снижена за счет флуктуаций атмосферного давления. Во время проведения эксперимента следите за тем, чтобы барометр не выходил из зоны действия датчика расстояния и датчик регистрировал расстояние именно до барометра, а не до посторонних предметов – руки поднимающего, края стола, потолка и т.д.

Остановите измерения, нажав кнопку **Стоп**, не убирая барометр из зоны действия датчика расстояния.

#### Анализ результатов

Во время проведения измерений на экран дисплея выводится график зависимости атмосферного давления от координаты барометра — прямая линия, проведенная через измеренные точки.

Никаких дополнительных действий для проведения анализа не требуется.

#### Повторные измерения

Для очистки графика нажмите кнопку Удалить данные. Если этого не сделать, новые точки будут добавлены к предыдущим измерениям.

Повторите измерения по пунктам 3–6 «Проведения измерений».

#### Дополнительное задание

Подключение барометра к системе сбора данных в течение длительного времени (12– 27 ч) позволит наглядно продемонстрировать изменения атмосферного давления, связанные с состоянием атмосферы.

## Справка

### Принцип действия используемых датчиков

#### Датчик расстояния

Принцип действия датчика основан на излучении последовательности ультразвуковых импульсов и измерении временной задержки между моментом начала излучения импульсов и моментом начала регистрации импульсов, отраженных от объекта измерения.

Основой датчика служит пьезорезистивный преобразователь. Напомним, что пьезоэлектрический эффект — это эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений (прямой пьезоэлектрический эффект). Существует и обратный пьезоэлектрический эффект — возникновение механических деформаций под действием электрического поля.

Датчик работает в несколько этапов. Сначала пьезорезистивный преобразователь излучает короткий ультразвуковой импульс, одновременно в датчике включается внутренний таймер. Затем отраженный от объекта импульс возвращается обратно в датчик, при этом таймер останавливается. Время  $t$ , прошедшее между моментом излучения импульса и моментом, когда отраженный импульс возвратился в датчик, служит основой для вычисления расстояния до объекта  $l = vt/2$ , где  $v$  — скорость распространения ультразвука в воздухе (343 м/с).

Контроль процесса измерения производится с помощью микропроцессора.

Датчик позволяет измерять расстояния до таких сложных объектов как, например, сыпучие вещества, жидкости, гранулы, прозрачные тела или тела, имеющие отражающие поверхности.

Однако у датчика есть ряд ограничений: это пена и другие объекты, поглощающие ультразвуковые волны, что значительно искажает результаты измерений. Сильноизогнутые поверхности объектов так же снижают точность измерений, поскольку рассеивают ультразвуковые волны в различных направлениях. Кроме того, датчик излучает ультразвуковые волны в виде широкого конуса (под углом 15–20° к оси центрального луча). При этом источниками отраженного сигнала для датчика могут стать различные объекты, оказавшиеся в конусе ультразвука, что ограничивает возможность использования датчика для измерения расстояния до небольших объектов.

#### Датчик атмосферного давления (барометр)

Данный датчик атмосферного давления относится к датчикам абсолютного давления.

Действие датчика основано на прямом пьезоэлектрическом эффекте: измеряется сила, деформирующая мембрану вакуумной камеры датчика. Внутренний тензометрический датчик преобразует изгиб упругого элемента в электрический сигнал, пропорциональный атмосферному давлению.

Датчик предназначен для измерения давления в диапазоне 81–106 кПа.

Метеорологические сведения могут отличаться от показаний барометра по следующей причине: метеорологи приводят давление на местности к давлению на уровне моря. Такое приведенное давление будет больше абсолютного (измеренного относительно нуля), которое показывает барометр. Для приведения показаний барометра в соответствие с метеорологической информацией у прибора имеется регулировочный винт (отверстие винта расположено рядом со штекером барометра).

**Внимание!** Для восстановления калибровки вам потребуется другой барометр, измеряющий абсолютное давление, например ртутный.