НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

ФМБ-11(К)

ПРИНЦИПЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС (С ВЫВОДОМ ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЙ ПЭВМ)

Тула, 2021 г

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

ПРИНЦИПЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Цель работы: изучение основных методов измерения артериального давления и приобретение навыков работы с техническими средствами его измерения.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.
Артериальное давление.

Одним из методов, позволяющих оценить состояние сердечно-сосудистой системы, является измерение артериального давления (АД). АД - это давление, которое оказывает кровь на стенки сосудов. АД характеризует эффективность работы сердца, нагнетающего кровь в сосудистое русло, и эластичные свойства сосудов, способствующих ее движению в организме человека.

Цикл работы сердца можно разделить на два основных периода: систолу и диастолу. Систола определяется как период сокращения сердечных мышц, во время которого кровь выталкивается в легочную артерию и в аорту. Диастола – это период расширения полостей сердца, во время которого они наполняются кровью. Значение АД изменяется в зависимости от периода сердечного цикла.

Мышечная сила сердца, преодолевая сопротивление сосудов, создаёт давление, с которым очередная порция крови вводится в кровеносную систему. Прерывистый режим работы сердца определяет пульсирующий характер всех параметров кровотока. Амплитуды пульсаций, как и уровень давления крови, снижаются с удалённостью от центра (сердца) к периферии. Наибольший размах пульсовые колебания давления достигают в аорте, крупных артериях, по мере сужения сосудов пульсации падают, становясь неразличимыми в артериолах.

Поскольку давление крови в артериях выше, чем в венах, то при исследовании сердечно-сосудистой системы (ССС) используются значения артериального давления, а не венозного. С наименьшими потерями информативности при наименьшем дискомфорте для человека характер давления исследуют на плечевой артерии.

Под диастолическим давлением (ДАД) понимают наименьшее давление в артерии во время диастолы сердца. Оно во многом определяется величиной тонуса периферических артериальных сосудов. Систолическое (максимальное) давление (САД) возникает в период систолы. Оно обусловлено в основном ударным объемом сердца и эластичностью аорты и крупных артерий.

Артериальное давление измеряется в миллиметрах ртутного столба – мм рт. ст., результат указывается как запись двух чисел: САД / ДАД.

1 мм. рт. ст.≈133,32 Па

В плечевой артерии здорового человека в возрасте 20-40 лет АД составляет в среднем 110-139/70-89 мм рт. ст. Различают **пульсовое, среднее и боковое** АД.

Пульсовым давлением (ПД) называют разницу между САД и ДАД, в норме она составляет примерно 40 мм рт.ст.

Графически пульсирующий процесс изменения давления крови в артерии можно представить кривой квазипериодической функции, приподнятой над осью абсцисс на величину ДАД (Рис.1).

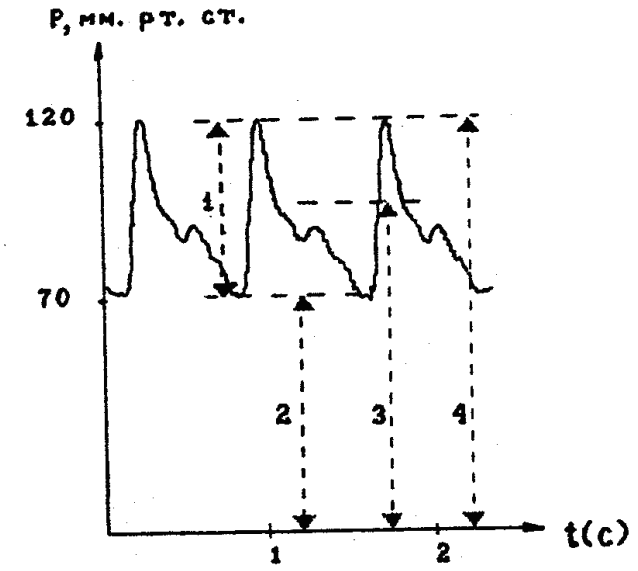


Рис. 1. Зависимость давления крови (P) от времени (t) в крупном кровеносном сосуде.

Среднее динамическое АД – усредненное за один цикл колебания сердца значение всех мгновенных давлений. Его значение можно найти интегрированием мгновенных значений АД за период. Ориентировочное значение среднего давления (АДср.дин) определяют по эмпирическим формулам Вецлера и Богера:

$$\overline{АД_{ср.дин}} \approx 0{,}42 \cdot САД + 0{,}58 \cdot ДАД \qquad (1.1)$$

или по формуле Хикема:

$$\overline{АД_{ср.дин}} \approx ДАД + \frac{(САД\text{-}ДАД)}{3} \qquad (1.2)$$

Боковое систолическое АД- это давление, действующее на боковую стенку артерии в период систолы желудочков.

Величина АД зависит от многих факторов:

- Степень эластичности сосудов;
- Величина сердечного выброса;
- Емкость сосудистой системы;
- Вязкость крови;
- Интенсивность и частота сердечных сокращений.

При измерении АД необходимо учитывать, что даже у здорового человека в течение суток происходят значительные колебания как систолического, так и диастолического АД. Оно изменяется под влиянием физической нагрузки, психоэмоционального и умственного напряжения (давление повышается в стрессовой ситуации), а также в результате существования биологических суточных (циркадных) ритмов (давление понижается в состоянии сна, повышается при пробуждении), употребления лекарственных препаратов (антигипертензивных средств –диуретиков, таких как гипотиазид, индопамид, фуросемид и т.д.), тонизирующих напитков (чая, кофе), курения.

С возрастом артериальное давление повышается, это связано с изменениями в сердечно-сосудистой системе, которые проявляются в снижении сердечного выброса, замедлении ритма, ухудшении тонуса сосудов. Максимальный физиологический уровень его достигается к 65-70 годам. При определении нормального значения зависимость АД от возраста учитывают с помощью приближённых формул:

$$\text{САД} = 1{,}7 \cdot H + 83 \qquad (1.3)$$

$$\text{ДАД} = 1{,}7 \cdot H + 42 \qquad (1.4)$$

где Н – возраст в годах

У некоторых людей АД повышенное или пониженное от природы.

Методы измерения артериального давления.

Все методы измерения артериального давления можно разделить на две большие группы: прямой (инвазивный) и косвенный (неинвазивный).

Прямое измерение артериального давления выполняется путем установки катетера (игла или канюля) непосредственно в артерию (лучевую, бедренную, плечевую) и связано с повреждением близлежащих тканей и стенок сосуда, поэтому данная процедура используется только при особой необходимости. Катетер (зонд с датчиком давления) стерильной трубкой, заполненной стерильным физиологическим раствором, соединен с монитором. Преимуществом при использования этого метода является то, что давление при этом измеряется постоянно, возможно мониторное отображение в виде графика давление/время. Область применения — хирургия, включая кардиохирургию, измерения венозных давлений.

Неинвазивные способы измерения артериального давления являются **косвенными** и позволяют измерять давление без хирургических вмешательств, быстро, неоднократно и технологически намного проще инвазивных. В зависимости от принципа, положенного в основу их работы, различают аускультативный и осциллометрический методы.

Аускультативный метод (метод Н.С.Короткова)

Аускультативный метод (метод Н.С.Короткова) измерения АД использует звуковые эффекты, сопровождающие пульсации кровотока, которые возникают в пережатой манжетой артерии. Если постепенно снижать давление в манжете, то возникают специфические звуки. Когда давление в манжете становится чуть ниже давления в артерии, первые порции крови, прорываясь в сосуд ниже места сужения, образуют турбулентный поток и вызывают колебания расслабленной стенки пустого сосуда, что соответствует появлению звуковых тонов над артерией. Момент появления тонов соответствует уровню систолического давления.

По мере снижения давления в манжете в сжатый участок артерии поступает все больше крови, и тоны становятся громче. Когда давление в манжете становится равно диастолическому, исчезает всякое препятствие току крови, поток становится ламинарным, колебания стенки сосуда прекращаются. Этот момент характеризуется ослаблением и полным исчезновением тонов. См. Рис. 2, 3, поясняющие суть метода Короткова.

Важным преимуществом метода является устойчивость к нарушениям ритма сердца и движениям руки во время измерения. Среди недостатков - высокая чувствительность к шумам в помещении, проблема определения момента считывания показателей ДАД (трудно точно фиксировать момент исчезновения тонов Короткова).

Рис. 2. Измерение артериального давления методом Короткова.

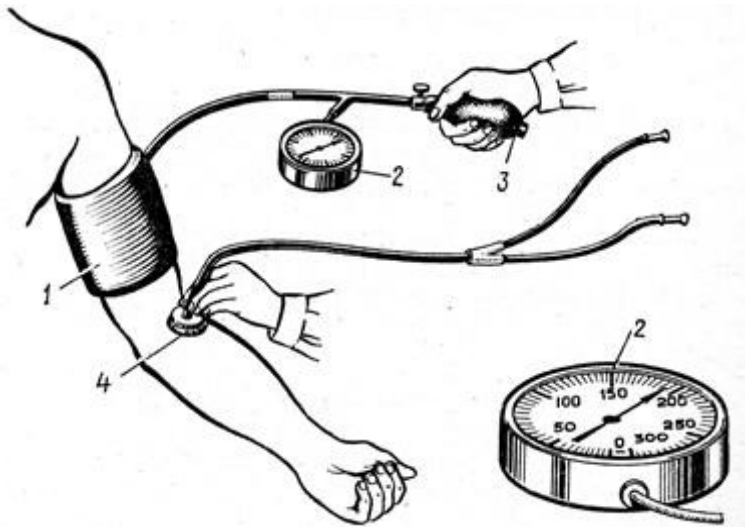


Рис. 3. Оборудование, используемое при измерение артериального давления методом Короткова на слух: 1 — манжета, 2 — манометр, 3 — груша для нагнетания давления с клапаном, 4 — фонендоскоп (стетоскоп). В локтевой ямке пальпаторно находят и затем выслушивают с помощью фонендоскопа или стетоскопа участок пульсации артерии. При этом звуки отсутствуют. Закрыв винтовой клапан, создают давление в манжете, накачивая воздух грушей. Затем, выпуская воздух из манжеты, с помощью выслушивания отмечают появление, усиление, ослабление и исчезновение сосудистых тонов. При этом одновременно следят за показаниями манометра. Момент появления тонов соответствует систолическому давлению, момент исчезновения – диастолическому.

Для записи тонов Короткова (фонограмма звуков на рис. 2) может использоваться микрофон специальной конструкции (датчик Короткова, рис. 4, 5), подключённый ко входу специально настроенного дифференциального усилителя. Высокая чувствительность микрофона позволяет устанавливать его не на коже над плечевой артерией, а в кармане манжеты, что не только более комфортно, но и устраняет случаи сползания манжеты относительно микрофона

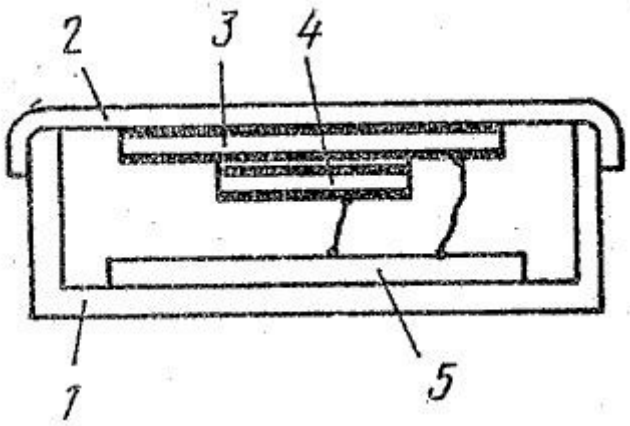


Рис. 4. Схема устройства пьезоэлектрического датчика Короткова.

Датчик (см. рис. 4) содержит корпус 1, мембрану 2, основной пьезоэлемент 3 и дополнительный пьезоэлемент 4. Дополнительный пьезоэлемент располагается на поверхности основного, т. е. в плоскости, параллельной плоскости основного. Пьезоэлементы и мембрана подключены к согласующему усилителю 5 (может быть вынесен в прибор).

Рис. 5. Внешний вид пъезоэлектрического датчика Короткова.

Датчик устанавливается под компрессионную манжету на внутренней стороне предплечья человека. Звуковые и механические колебания, возникающие в тканях при изменении давления в манжете, воспринимаются мембраной 2 и преобразуются пьезоэлементами 3 и 4 в электрический сигнал, поступающий на выход согласующего усилителя 5, обеспечивающего согласование высокого импеданса пьезоэлементов с входным сопротивлением измерителя АД.

Соосное расположение дополнительного пьезоэлемента относительно основного и выбор соотношения их площадей в пределах от 0,1 до 0,35 при соединении их одноименными электродами позволило обеспечить АЧХ, имею-

щую подъем в диапазоне частот от 20 Гц до 80 Гц не менее 16 дБ, что увеличило соотношение полезный сигнал (т.е. осцилляции тонов Короткова)/ помеха (осцилляции пульса). Внешний вид датчика приведён на рис. 5.

Исследования проводят два-три раза на обеих руках с интервалами не менее 1 минуты и указывают среднее значение двух последних измерений на той руке, где показатели выше. Определяют величину пульсового давления.

Осциллометрический метод измерения артериального давления.

В основе другого косвенного метода измерения давления – осциллометрического метода – лежит анализ пульсаций давления (осцилляций), возникающих в манжете, сжимающей артерию в режимах компрессии или декомпрессии воздуха. Для регистрации осцилляций в воздушную магистраль манжеты устанавливается датчик давления с необходимыми динамическими характеристиками.

Сущность метода заключается в том, что непосредственно регистрируется давление воздуха в манжете и колебания (осцилляции) давления. Анализируя амплитуды и формы зарегистрированных осцилляций, можно выделить области характерных изменений, при которых давление в манжете соответствует определенным значениям АД.

Так, если плавно изменять давление в манжете (рис. 6, 7) и при этом измерять и регистрировать амплитуду колебаний давления в ней, то можно определить среднее динамическое давление АДср.дин. Оно будет соответствовать тому давлению в манжете, при котором амплитуда (размах) колебаний будет иметь максимальную величину (среднее давление по Марлею). По резкому изменению амплитуд пульсаций в манжете можно определить моменты, когда давление в ней станет меньше диастолического и больше систолического.

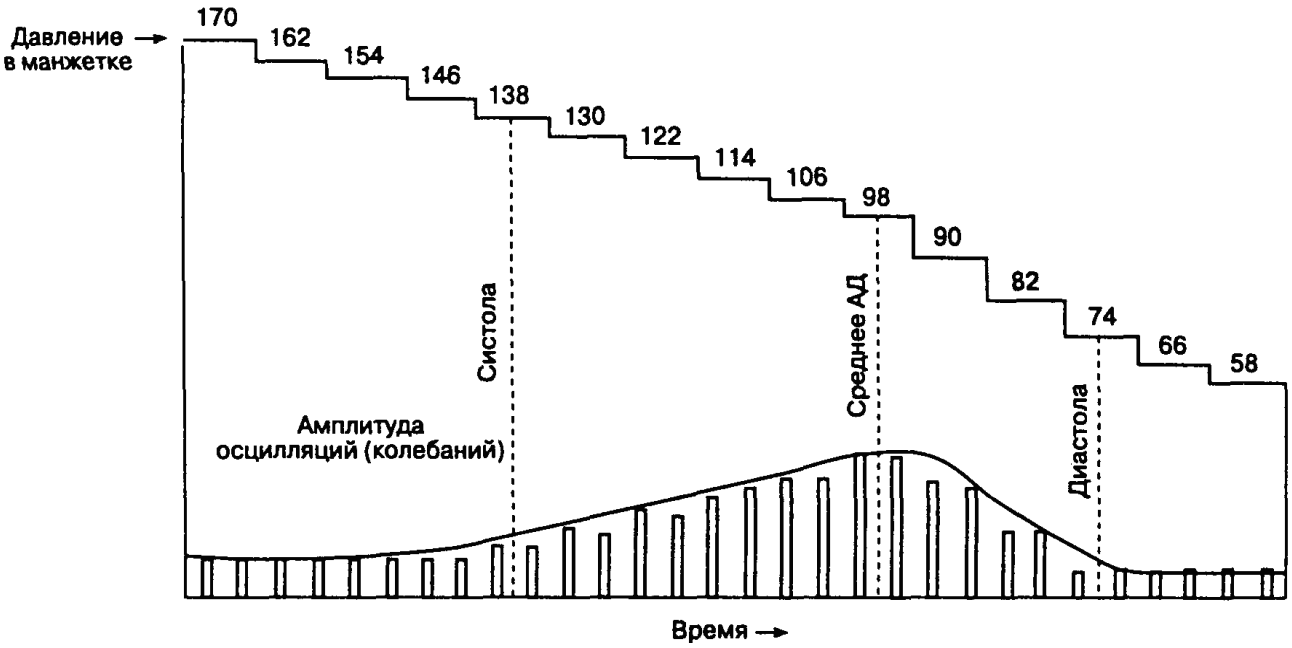


Рис. 6. Осциллометрическое определение артериального давления.

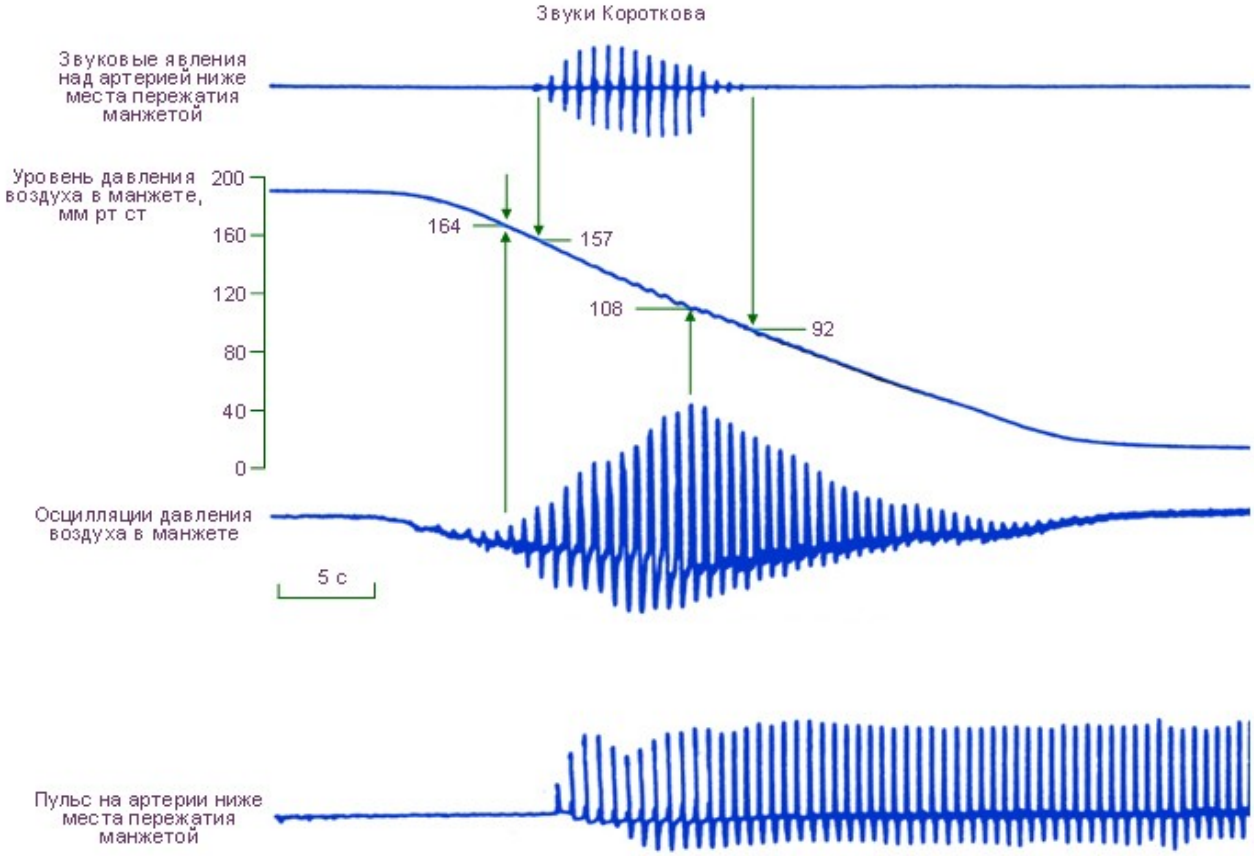


Рис. 7. Осциллограммы импульсов с датчика давления и с микрофона (датчика Короткова).

В соответствии с технологией метода, сначала строится огибающая импульсов, затем определяется максимум огибающей (A_{max}), а после находятся характерные точки A_1 и A_2. В соответствии с фазами начала (A_2) и конца (A_1) звуковых явлений при регистрации АД по Короткову (рис. 8).

Экспериментально установлено, что амплитуда колокола в точке A_1, равная $\frac{1}{2}\cdot A_{\max}$, соответствует уровню диастолического давления, а амплитуда колокола в точке A_2 равная $\frac{2}{3}\cdot A_{\max}$, определяет уровень систолического давления.

Таким образом, для определения артериального давления строится график зависимости амплитуд «осциллометрического пульса» от давления в манжете (Рис. 8). Этот график называют «осциллометрической кривой» либо «колоколом». По горизонтальной оси откладывается давление в манжете (слева направо в сторону уменьшения), а по вертикальной – соответствующие значения амплитуд пульсаций. Форма «колокола», несмотря на то, что она изменяется от пациента к пациенту (а иногда и у одного пациента от минуты к минуте), оказывается чрезвычайно точным индикатором уровней артериального давле-

ния. При корректных условиях измерения «колокол» имеет единственный, четко выраженный максимум. Среднее гемодинамическое АД определяется как такое давление в манжете, при котором была зарегистрирована максимальная амплитуда (A_{max}) «осциллометрического пульса» (т. е., по положению максимума «колокола»). Далее, на основе полученного значения среднего гемодинамического АД, с использованием специальных алгоритмов анализа по левой части «колокола» определяется систолическое АД, а по правой части – диастолическое.

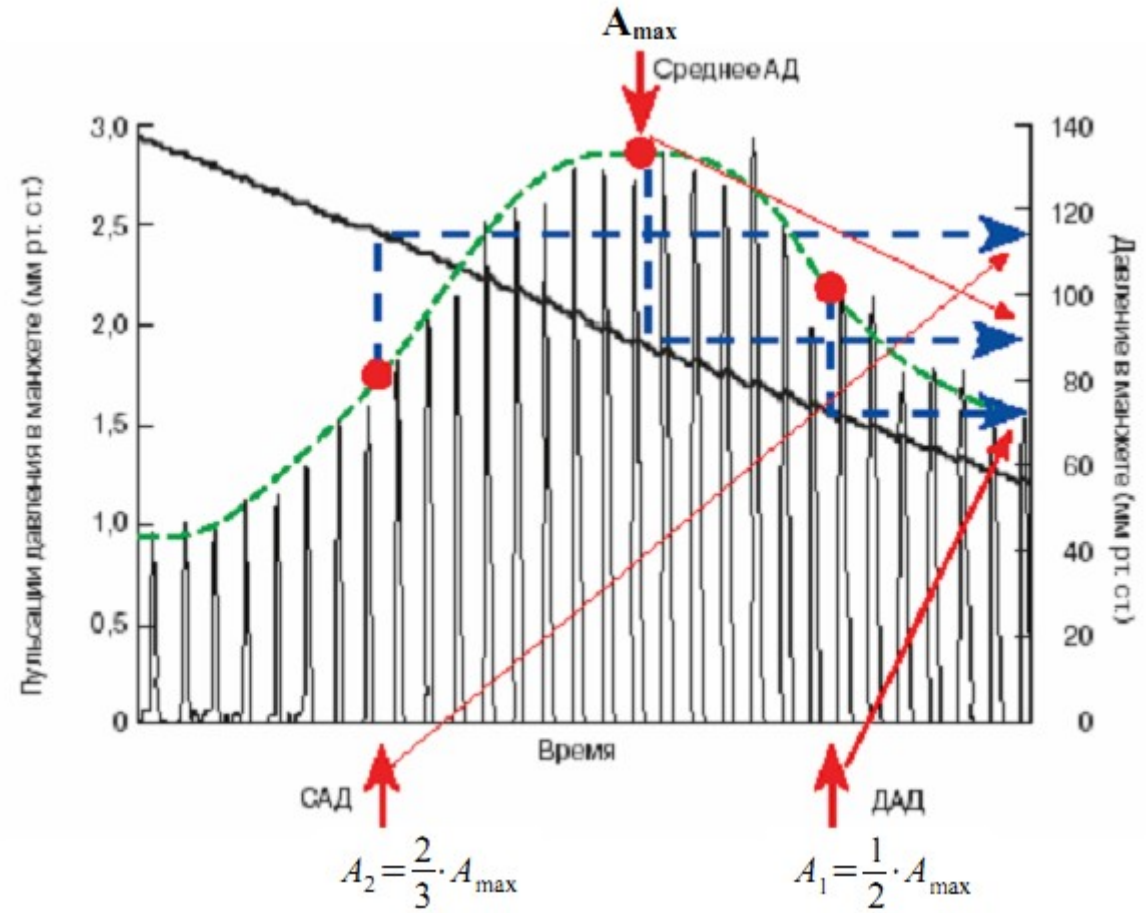


Рис. 8. Определение по осциллограмме импульсов среднего $\overline{АД_{ср.\,дин}}$ (A_{max}), систолического (A_2) и диастолического АД (A_1).

Пусть, например, максимальная амплитуда A_{max}=2,75 [мм. рт. ст.] пульсаций давления была достигнута при давлении P_{max}=90 [мм. рт. ст.] (рис. 8). Это среднее артериальное давление $P_{max} = \overline{АД_{ср.\,дин}}$ Тогда, согласно вышеизложенной теории метода, ищем на огибающей точку A_2 с амплитудой осцилляций $A_2 = \frac{2}{3} \cdot A_{max} \approx 1{,}83$ [мм. рт. ст.]. Этой точке на рис. 8 соответствует уровень САД=115 мм. рт. ст. Далее, ищем точку на огибающей с амплитудой осцилляции $A_1 = \frac{1}{2} \cdot A_{max} \approx 1{,}37$ [мм. рт. ст.]. Этой точке на рис. 8 соответствует уровень ДАД=75 мм. рт. ст.

В зарубежной литературе приводятся несколько другие данные соответствия среднего, систолического и диастолического уровней АД (см. рис. 9).

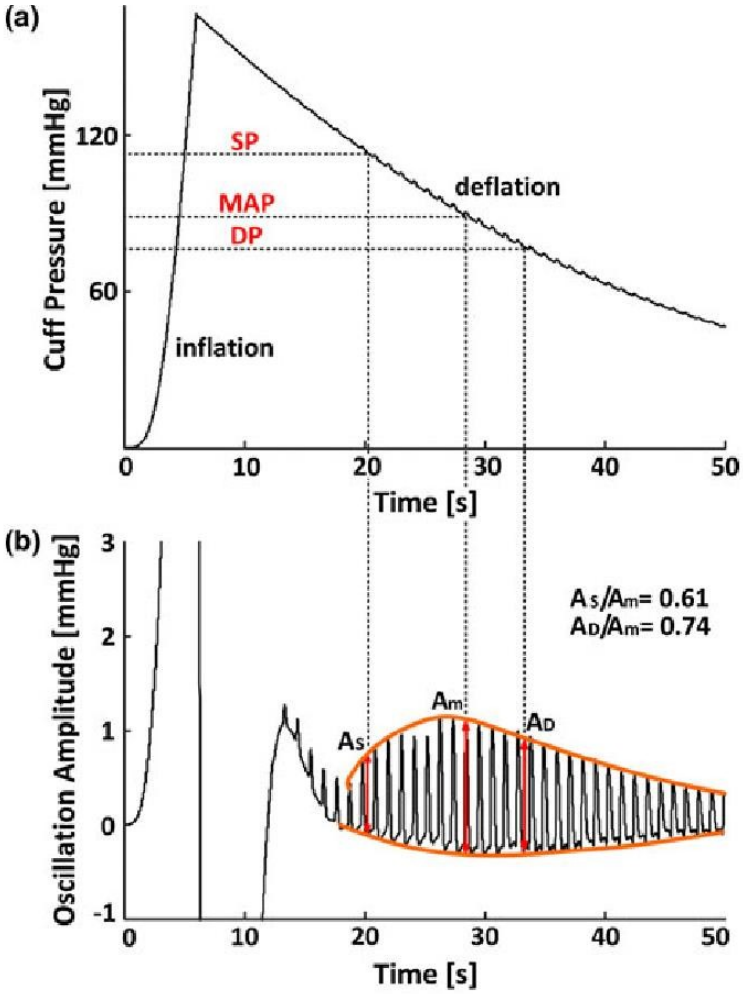


Рис. 9. Обработка огибающей пульсовой волны согласно данным зарубежных источников. A_m — амплитуда импульсов, соответствующая среднему АД; A_s – амплитуда импульсов, соответствующая уровню систолического АД; A_d – амплитуда импульсов, соответствующая уровню диастолического АД.

При другом алгоритме регистрации АД осциллометрическим методом за систолическое АД принимают давление в манжете, при котором происходит наиболее быстрое увеличение амплитуды пульсаций, среднему АД соответствуют максимальные пульсации, а диастолическому АД - резкое ослабление пульсаций.

Иногда выделяют отдельно тахоосциллометрический метод, который основан на тех же принципах, что и осциллометрический, однако отличается от последнего тем, что регистрируют не пульсовые колебания объема сосуда, подвергающегося компрессии и декомпрессии, а скорость изменения этого объема, т.е. анализируется первая производная от осцилляций давления. При интерпретации кривой рассматривают не амплитуды колебаний, а «западание» в нижнем участке тахоосциллограммы (Рис. 10). Появление «западания» соответствует ДАД. Утолщение перед восходящей частью – «волна закрытия»- указывает на среднее АД $\overline{АД_{ср.дин}}$. Боковое давление (АДб) определяется по уровню наибольшего «западания». Наконец, исчезновение пульсаций указывает на достижение САД.

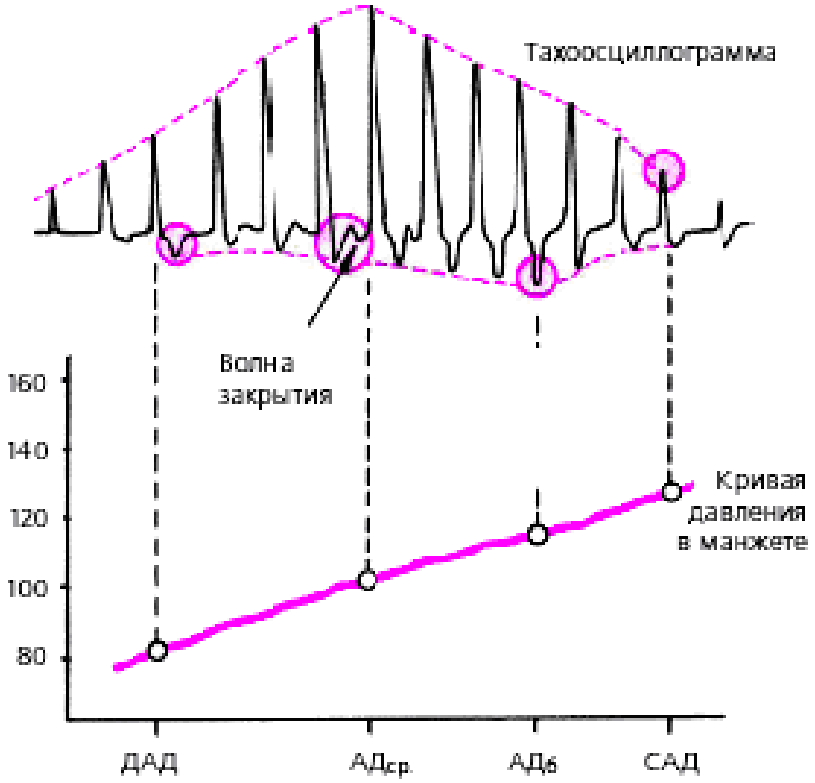


Рис. 10. Тахоосциллограмма и кривая изменения давления в манжете.

Другие методы измерения АД.

В основе **ультразвукового метода** лежит эффект Доплера, который позволяет регистрировать движение стенок кровеносного сосуда при различных уровнях давления в манжете. Отраженный от стенки артерии сигнал имеет сдвиг по частоте относительно излучаемого сигнала, пропорциональный скорости движения стенки артерии и крови. Если движение направлено в сторону датчика, то частота увеличивается, если от датчика — уменьшается.

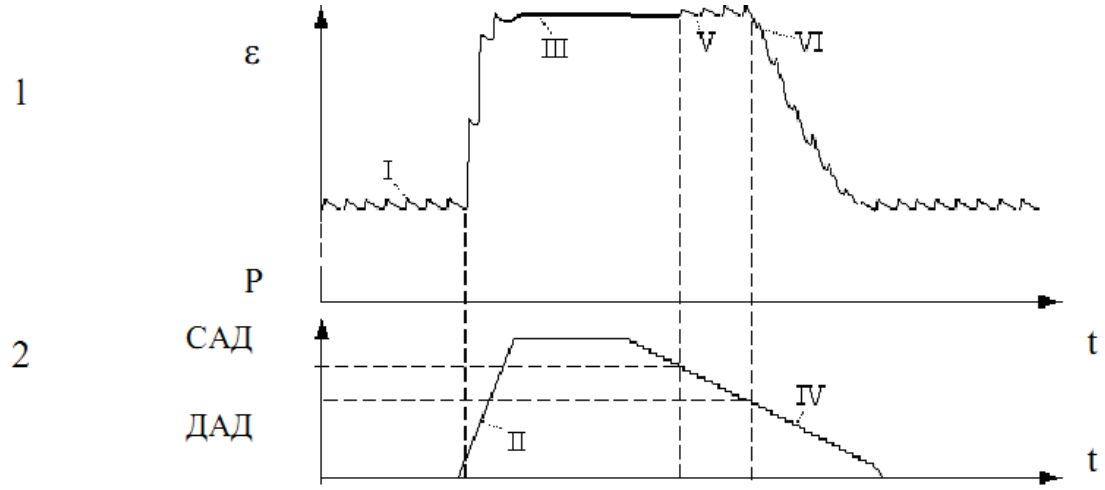
В наиболее общем виде эффект Допплера описывается формулой:

$$\Delta\omega_d = 2\cdot\omega_0\cdot\frac{\upsilon_0}{c} \qquad (2.1)$$

где $\Delta\omega_d$ — допплеровский сдвиг частоты, ω_0 - посылаемая частота, υ_0 - наблюдаемая скорость, c - скорость распространения ультразвуковых волн в среде (в данном случае - крови).

Измерение САД методом УЗДГ (ультразвуковой допплерографии) представляет собой, в сущности, регистрацию первого тона Короткова, когда давление, создаваемое пневматической манжетой, становится ниже давления на данном участке артерии так, что появляется минимальный кровоток. Появление тока крови, регистрируемого датчиком при постепенном снижении давления воздуха в манжете, является моментом фиксации систолического АД на уровне ее наложения.

При использовании **метода фотоплетизмографии** световой поток пропускают через биоткани с близко расположенными кровеносными сосудами. По величине потерь интенсивности светового потока судят об изменении размера сосуда. Зарегистрированные с помощью фотоплетизмографического датчика пульсации давления подвергаются обработке (Рис.11).



1 –фотоплетизмограмма (ε-коэффициент светопоглощения, t-время);

2 – график изменения давления (P) в компрессионной манжете.

Рис. 11. Измерение АД с помощью окклюзионной фотоплетизмографии.

Сначала наблюдают пульсации крови в пальце в нормальных условиях, когда в манжете нет избыточного давления воздуха (участок I). Потом быстро повышают давление в манжете до значения несколько выше САД (участок II).

Пока давление в манжете ниже САД, приток крови продолжается и кровенаполнение пальца, как и сигнал на фотоплетизмограмме, возрастает. Когда внешнее давление становится выше САД, артерии перекрываются, и приток крови тоже прекращается. На фотоплетизмограмме исчезают пульсовые волны (участок III).

При снижении давления в манжете (участок *IV*) немного ниже САД, кровь начинает проталкиваться через артерии, и на фотоплетизмограмме появляются пульсовые волны. Значение давления в манжете в этот момент принимается за САД. Появление пульсовых волн, однако, не изменяет кровенаполнения пальца, так как отток крови еще перекрыт, и средний уровень сигнала остается постоянным (участок *V*). Когда давление в манжете становится ниже ДАД, возможным становится и отток крови из вен. Кровенаполнение пальца начинает уменьшаться, сигнал на фотоплетизмограмме идет на спад (участок *VI*). Давление в манжете в момент начала спада принимается за ДАД.

В качестве чувствительного детектора для регистрации пульсаций артерии и давления в манжете используются пьезоэлектрические, фотоэлектрические, электроакустические, термометрические, электрокардиографические, реографические приборы и датчики.

Технические средства для измерения артериального давления.

Тонометр (**сфигмоманометр**) – это прибор для неинвазивного (косвенного) измерения артериального давления. В зависимости от метода, положенного в основу измерения, различают механические и электронные тонометры.

Механический тонометр (Рис. 2.1) реализует аускультативный метод. В состав механических тонометров входят:

1)фонендоскоп – устройство аускультации (прослушивания тонов Короткова) и контроля параметров кровотока;

2)манжета – герметичная воздушная камера, которая, меняя свои размеры, пережимает стенки сосудов;

3)нагнетатель воздуха с регулирующими клапанами – резиновая груша, регулирует давление воздуха в манжете.

4)манометр – используется для измерения давление воздуха в манжете.

Рис. 2.1. Механический тонометр.

Электронные тонометры реализуют осциллометрический метод. По способу нагнетания воздуха в манжету электронные тонометры подразделяются на две категории:

1. полуавтоматические – с нагнетанием воздуха в манжету ручным способом с помощью резинового нагнетателя (груши, как в механических тонометрах)

2. автоматические – закачивающие воздух в манжету под давлением с помощью компрессора с электрическим двигателем.

В зависимости от места наложения манжеты различают запястные и плечевые автоматические тонометры (Рис. 2.2).

Рис. 2.2. Электронные тонометры. 1 - полуавтоматический, 2 - автоматический на плечо, 3 - автоматический на запястье.

Преимуществом автоматических приборов в отличие от полуавтоматических и механических моделей является отсутствие физического усилия при нагнетании воздуха грушей, что позволяет повысить точность полученных значений.

Рассмотрим **принцип работы автоматического тонометра (рис. 2.3)**.

В режиме компрессии (декомпрессии) воздуха в манжете осцилляции повторяют изменения колебаний (пульсаций) объёма сосудов. Из манжеты осцилляции по резиновой трубке с воздухом поступают в датчик давления, монтируемый в корпус измерительного прибора, где и регистрируются. В качестве датчиков давления наиболее популярны емкостные электронные преобразователи, с достаточной чувствительностью и скоростью преобразующие протекающие в пневмосистеме явления в электрический сигнал. С увеличением давления зазор между пластинами воздушного конденсатора уменьшается, уменьшение ёмкости увеличивает частоту выходного сигнала датчика давления, а нулевое давление в манжете привязывается к текущему атмосферному давлению.

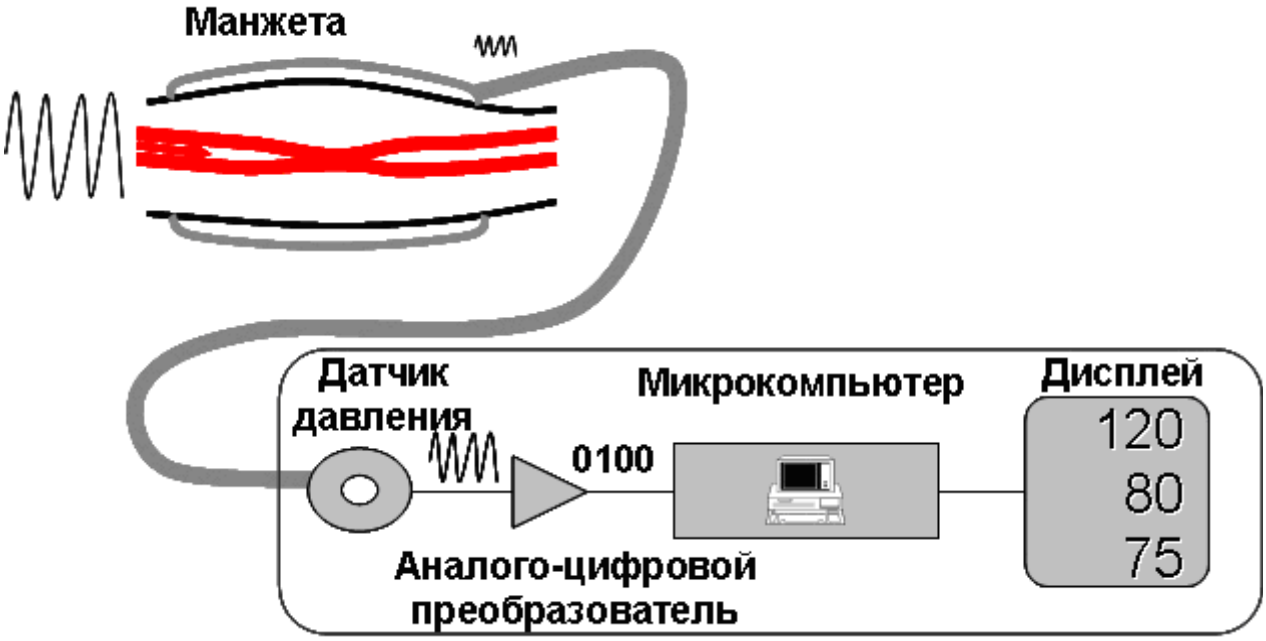


Рис. 2.3. Схема работы электронного тонометра.

Поддерживать скорость спуска воздуха из манжеты во время измерения и сбрасывать воздух из манжеты после окончания измерения позволяет электронный клапан сброса воздуха. Значения параметров в процессе измерения выводятся на цифровой дисплей. Работа прибора обеспечивается автономными источниками (батареями, аккумуляторами).

Модификации электронных тонометров имеют встроенную память до 300 результатов измерений, вычисление средних показателей АД, возможность вывода данных памяти на компьютер, программное обеспечение для статистической обработки множества результатов, построения графика, учет аритмии.

Модели электронных приборов по сравнению с механическими тонометрами имеют ряд преимуществ. В первую очередь процедура измерения АД проще, что позволяет проводить самоконтроль АД пациентами без медицинской квалификации, без посещения врача. Во-вторых, определение уровня компрессии с учетом систолического давления каждого пациента не допускает длительного избыточного давления на прилежащие ткани. К достоинствам автоматических тонометров также можно отнести тот факт, что результат фиксируется на дисплее и автоматически сохраняется в памяти прибора.

Суточный мониторинг АД (СМАД).

Мониторинг АД – это многократное (как правило, через равные интервалы времени) измерение артериального давления в течение определенного периода времени (как правило, суток). Разовые измерения не дают полное представление о динамике АД для проведения диагностики и терапии.

Этот метод позволяет получить информацию об уровне и колебаниях АД в течение 24 часов, выявить время, когда АД бывает наиболее высоким или низким, эпизоды повышения АД, которые могут не ощущаться пациентом.

Проведение мониторирования для больных гипо- и гипертонией позволяет уточнить диагноз у пациентов с необычными колебаниями АД во время одного или нескольких визитов, оценить адекватность изменения АД на фоне приема лекарственных препаратов. Кроме того, ВОЗ рекомендует СМАД пациентам с высоким риском сердечно-сосудистых заболеваний в случае выявление реакции "белого халата".

С помощью периодического измерения показателей артериального давления можно выявить не только суточные скачки, но и зависимость повышения артериального давления от физических и эмоциональных нагрузок. Во время исследования пациент ведёт специальный дневник, в который он делает записи обо всех моментах физической и психологической нагрузки, указывает когда был приём лекарств, время курения, употребления кофе, крепкого чая и т. п.

Метод мониторинга является очень информативным, он позволяет определить степень, причины, риски артериальной гипертонии. Контроль АД в течение 24 часов, множество видов обработки, включая построение графика среднего значения всех измерений, позволяет врачу точнее оценивать состояние пациента.

Для мониторинга артериального давления используются **суточные мониторы АД**. Для снижения риска потери информации при измерении, исключения артефактов, в таких тонометрах одновременно используются, дублируя друг друга, и метод Короткова (используются два встроенных электронных микрофона) и осциллометрический метод, с автоматической накачкой воздуха встроенным компрессором.

Некоторые модели суточных мониторов работают по методу **"volume-clump"** . В отечественной литературе его называют компенсационным или методом разгруженной артерии. Он основан на непрерывной оценке объема сосудов пальца методом фотоплетизмографии и использовании следящей электропневматической системы для создания в окружающей палец манжете давления, противодействующего растяжению проходящих под манжетой артериальных сосудов.

При выполнении последнего условия и постоянстве диаметра пальцевых артерий в них поддерживается неизменное растягивающее давление, близкое к нулю, а давление в манжете "повторяет" давление крови в артериях пальца.

Для всех моделей суточных мониторов характерно наличие специального программного обеспечения (ПО) и интерфейсного выхода для связи с компьютером.

ПО позволяет представить массив полученных значений артериального давления в удобной графической форме и провести их математическую обработку.

Обработка подразумевает построение графика среднего значения всех измерений и расчет основных показателей, используемых при анализе суточного профиля АД.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Аппаратная часть. Приборы и оборудование.

Лабораторная работа выполняется на комбинированном учебном комплексе ФМБ-11К, имеющим сопряжение с ПК. Все параметры эксперимента, установленные и измеренные значения параметров выводятся в соответствующие окна программы - оболочки для работы с установкой – LabVisual 3. Лабораторный комплекс работает только в сопряжении с ПК. Блок — схема экспериментов приведена на рис. 3.1.

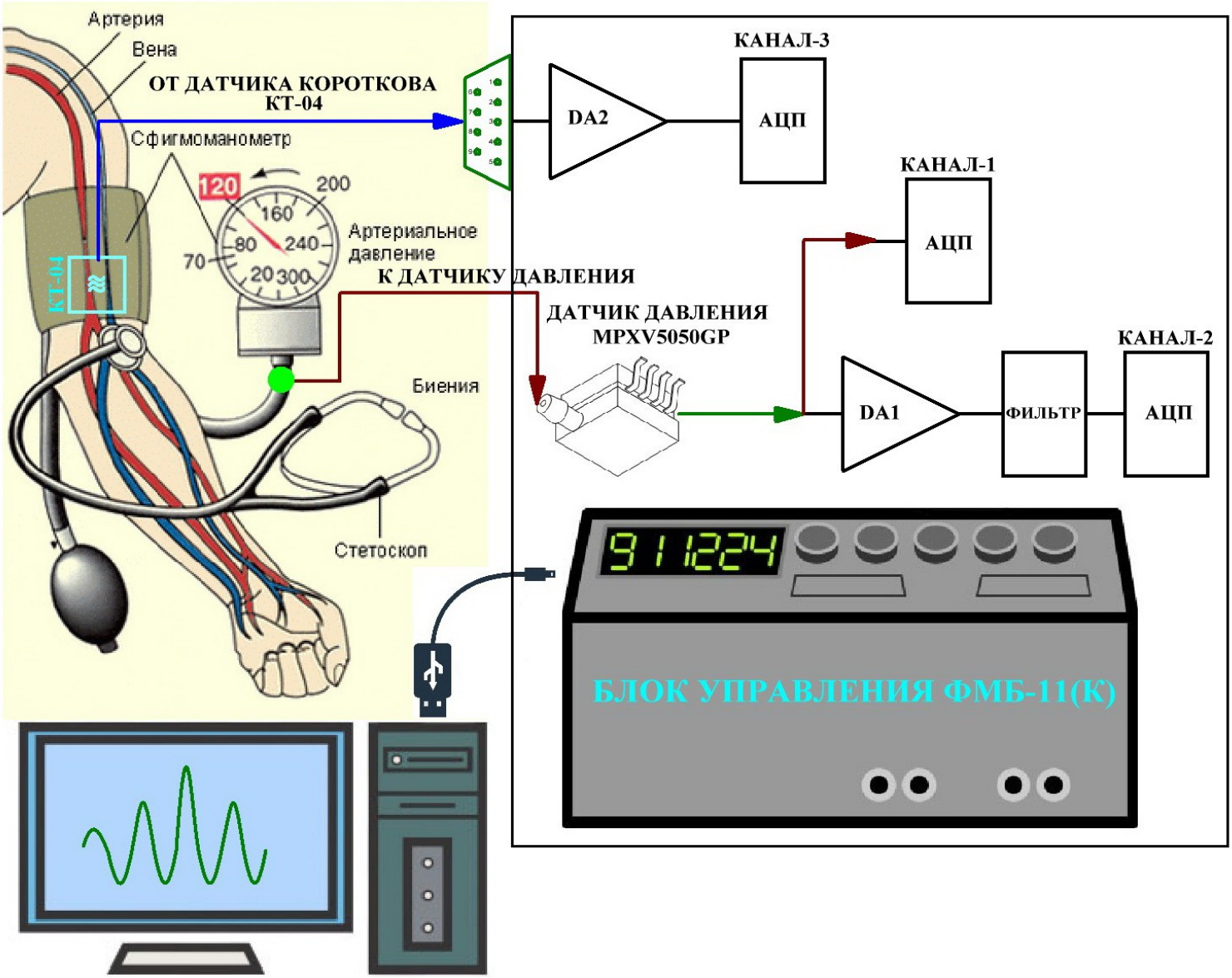


Рис. 3.1. Блок схема (электро — пневматическая) учебной установки ФМБ-11К.

В разрыв пневматической системы манометр — манжета — груша включен тройник, пневматический выход которого подключается к датчику давления типа MPXV5050GP, находящемуся внутри корпуса блока управления ФМБ-11. Такая схема позволяет контролировать давление в пневмосистеме одновременно по показаниям механического стрелочного сфигманометра и по сигналу с цифрового датчика давления.

Сигнал напряжения с датчика давления пропорционален значению давления в системе и подаётся на 1 — канал трёхканального АЦП. Одновременно с этим, выход датчика MPXV5050GP соединен со входом операционного усилителя DA1 и фильтром нижних частот, который отсекает ВЧ шумы. Коэффициент усиления усилителя DA1 равен $К_{УС.\ DA1}$=130 единиц. Усиленные осцилляции давления подаются на вход канала — 2 АЦП. Данная схема позволяет одновременно с сигналом давления наблюдать и его осцилляции на экране самописца (осциллографа), возникающие в манжете, сжимающей артерию.

Датчик тонов Короткова типа КТ-04, представляющей из себя пьезоэлектрический преобразователь (микрофон), подключается через специальный разъём ко входу дифференциального усилителя DA2, далее усиленный и отфильтрованный сигнал подаётся на 3 — канал АЦП. Коэффициент усиления усилителя DA2 равен $К_{УС.\ DA2}$=200 единиц.

Все сигналы с АЦП подаются на микроконтроллер и далее передаются на USB – выход учебного прибора. Получаемые кривые визуализируются на экране ПК в специальной программной среде LabVisual.

Прибор также имеет 4 аналоговых выхода, которые позволяют подавать получаемые с датчиков аналоговые сигналы на внешний самописец либо осциллограф:

XS – 1 – выход сигнала давления с датчика давления;

XS – 2 – выход сигнала осцилляций давления с усилителя DA1;

XS – 3 – выход сигнала с датчика тонов Короткова (фонограмма) с усилителя DA2;

XS – 4 – выход прямоугольных калибровочных импульсов (П) положительной полярности с амплитудой $U_П$ = 0,5 В; частотой $\nu_П$=32,01 Гц; периодом $T_П$=31,2 мс и длительностью $\Delta t_П$=3 мс.

Кнопки с фиксацией SA1 – SA3 позволяют подключать (кнопка ОТЖАТА) либо отключать (шунтировать, кнопка НАЖАТА) конденсатор. Эти кнопки фактически являются переключателями режима выхода. В НАЖАТОМ положении (конденсатор отключён) «≂» на выход поступает и постоянное и переменное напряжение. Это называется «открытый вход/выход» – то есть открытый для постоянного тока. В ОТЖАТОМ положении (конденсатор подключён) «~» на выход проходит только переменное напряжение, это позволяет измерять маленькое переменное напряжение на фоне большого постоянного, например в усилителях. Это называется «закрытый вход/выход». При закрытом входе очень низкие частоты (ниже 1...5 Гц) сильно ослабляются, поэтому измерять их можно только при открытом входе.

Кнопки SA1 – SA3 влияют только на сигнал, подаваемый на встроенный USB – самописец, и не оказывают влияния на сигнал, подаваемый к клеммам XS1 – XS3. Прямоугольные калибровочные импульсы не подаются на встроенный USB – самописец и могут быть зарегистрированы внешним самописцем с клеммы XS4. Кнопка SA4 служит для включения/отключения калибровочных импульсов.

Датчик давления MPXV5050 питается от стабилизированного источника питания напряжением +5 В. Давление в системе создаётся вручную нагнетателем воздуха с регулирующим клапаном – резиновой грушей.

Более подробные принципиальные электрические схемы подключения датчиков приведены на рис. 3.2 — 3.4. АЦП, усилители и фильтры находятся в едином блоке управления.

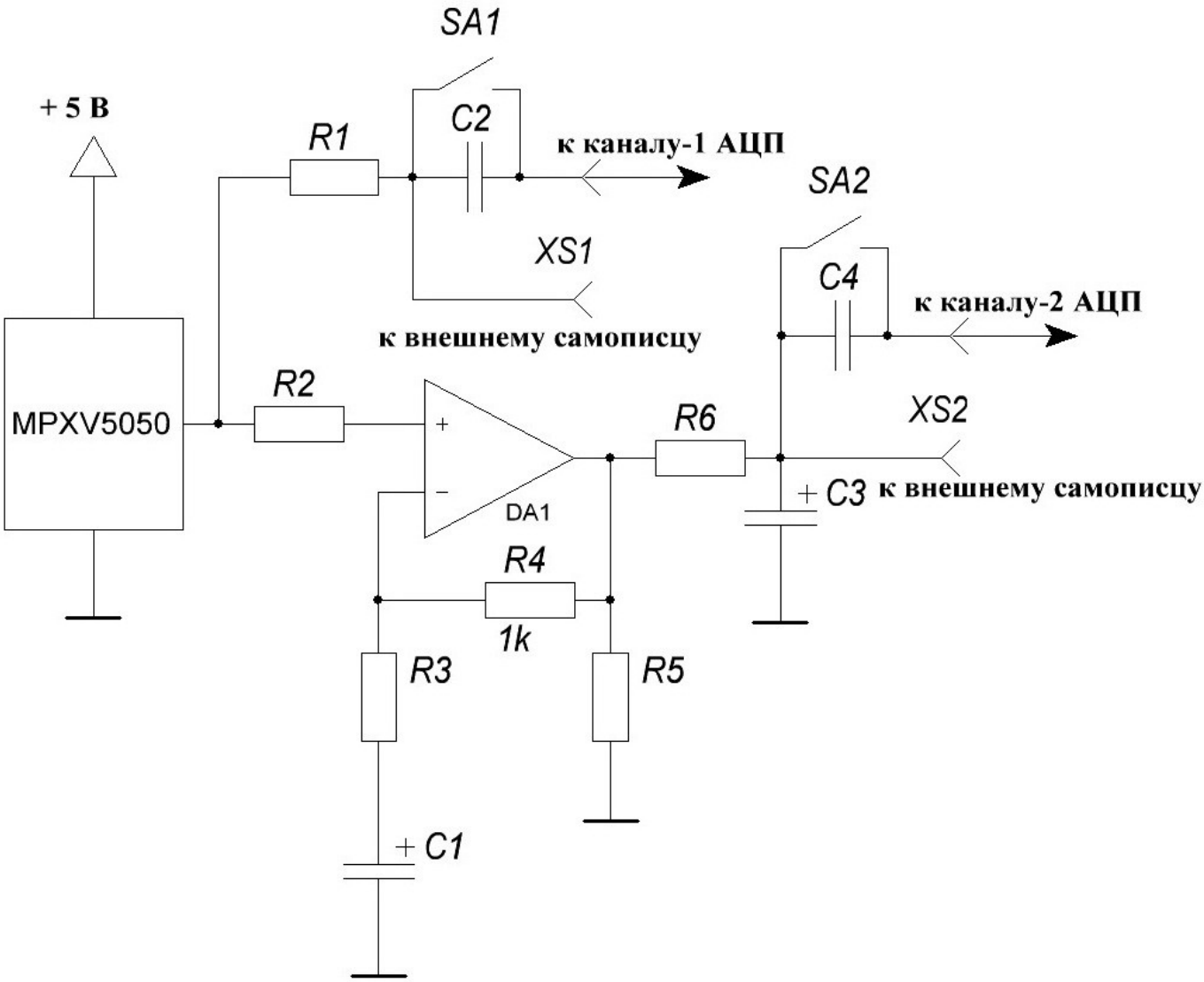


Рис. 3.2. Электрическая схема подключения датчика давления типа MPXV5050GP.

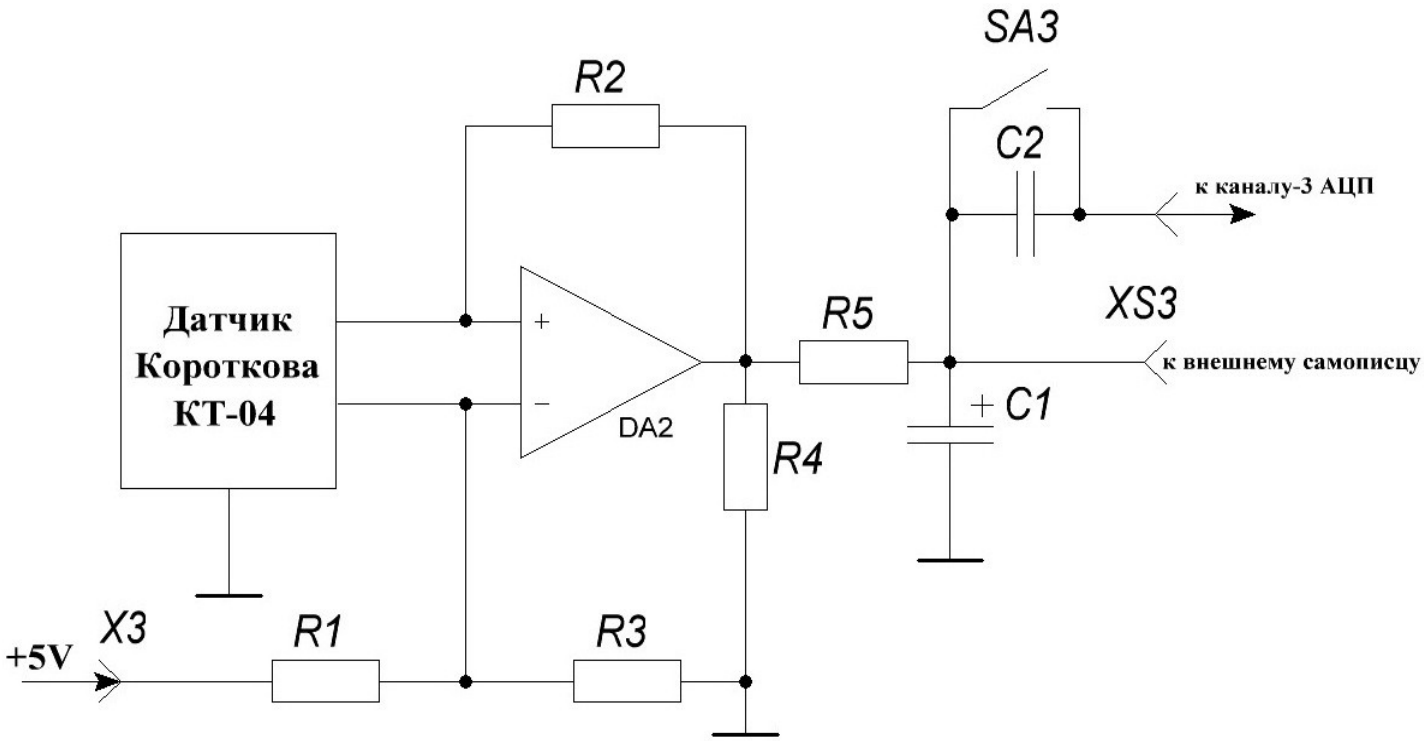


Рис. 3.3. Электрическая схема подключения датчика тонов Короткова типа КТ-04 «ИНКАРТ».

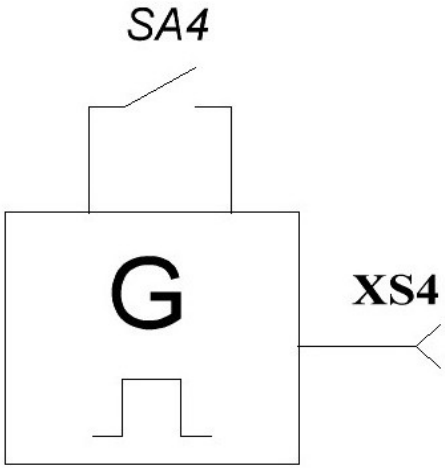


Рис. 3.4. Электрическая схема подключения генератора прямоугольных калибровочных импульсов. XS – 4 – выход прямоугольных калибровочных импульсов (П) положительной полярности с амплитудой $U_П$ = 0,5 В; частотой $\nu_П$=32,01 Гц; периодом $T_П$=31,2 мс и длительностью $\Delta t_П$=3 мс.

Программная часть.
Подготовка к работе.

Для сопряжения работы учебной установки с персональным компьютером используется специально разработанный протокол передачи данных LabVisual, разделяющий байты управления и байты данных. Для визуализации принятых данных служит программа-оболочка LabVisual для ФМБ-11К. Установка подключается к USB порту компьютера при помощи специального соединительного кабеля.

Программа LabVisual может успешно работать как на компьютерах под управлением ОС Windows так и опционально на компьютерах под управлением ОС Linux при помощи эмулятора среды окружения VirtualBox. На прилагаемых дисках в соответствующих папках содержатся сборки программ для установки и работы в этих операционных системах.

Подробная инструкция по установке среды LabVisual 3 содержится в прилагаемом руководстве к программе.

В комплекте с лабораторной установкой поставляется ПЭВМ с предустановленным дистрибутивом среды LabVisual 2.5 и установленным и настроенным программным обеспечением (всё предустановленное программное обеспечение поставляется согласно лицензии GNU GPL v2 и является свободным и бесплатным, если не оговорено обратное; подробно см. п. 1.1 и пп. 4 — 5 Руководства к среде LabVisual 2.5).

После загрузки программной среды (~ 1 мин.) автоматически запуститься программа оболочка LabVisual для работы с экспериментальной установкой. Если программа не запустилась автоматически, на рабочем столе следует дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на ярлык LabVisual. При этом должно открыться главное окно программы-оболочки LabVisual для работы с экспериментальной установкой (рис. 4.2). Программа LabVisual имеет интуитивно понятный, дружественный пользователю интерфейс.

Для работы в автоматическом режиме с ПК требуется выполнение ряда пунктов.

Во избежание сбоев в работе, сопряжение с ПК посредством USB – порта и конфигурация USB-передатчика на учебном приборе осуществляется в специальном порядке.

Для работы в автоматизированном режиме (с ПК) необходимо:

1) соединить USB выход прибора с USB портом ПК соединительным кабелем типа USB A-B. Рекомендованная длина соединительного кабеля не более 1,8 м.
2) Запустить программную среду LabVisual для работы с прибором.
3) Убедиться, что устройство корректно опозналось в системе. Для этого запустить Диспетчер Устройств Windows. В диспетчере устройств должно появиться два устройства: «HID – совместимое устройство,

определённое поставщиком» и «USB устройство ввода» в разделе «Устройства HID»

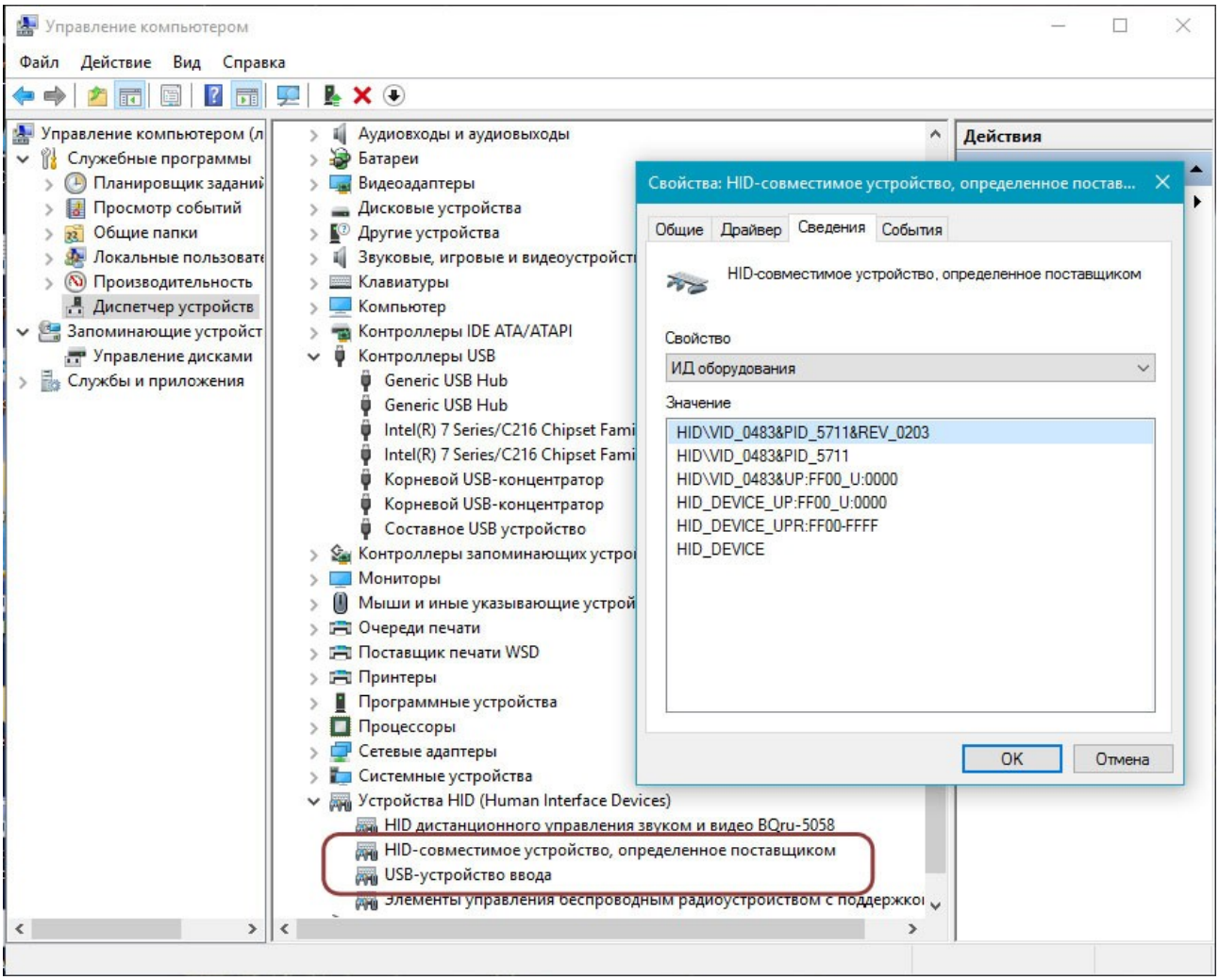


Рис. 4.1. Корректно определенное устройство в диспетчере задач Windows.

4) Если устройство не определилось (виден символ устройства с восклицательным знаком «!», код ошибки 10, код ошибки 43), то следует удалить данное устройство нажатием правой кнопки мыши из списка устройств, отключить прибор от USB – порта ПК и не менее чем с 5 секундной паузой повторить подключение.

5) Установка дополнительных драйверов для работы устройства в системе не требуется.

6) В среде LabVisual проверить состояние прибора: УСТРОЙСТВО → Параметры Прибора VID=1155, PID=22289

7) Приступить к выполнению эксперимента.

Для начала работы с прибором нажмите кнопку «РАБОТА С ПРИБОРОМ» в программе.

После соединения прибора с USB – портом ПК, при запущенной среде LabVisual, необходимая подпрограмма для измерения должна запуститься автоматически рис. 4.3.

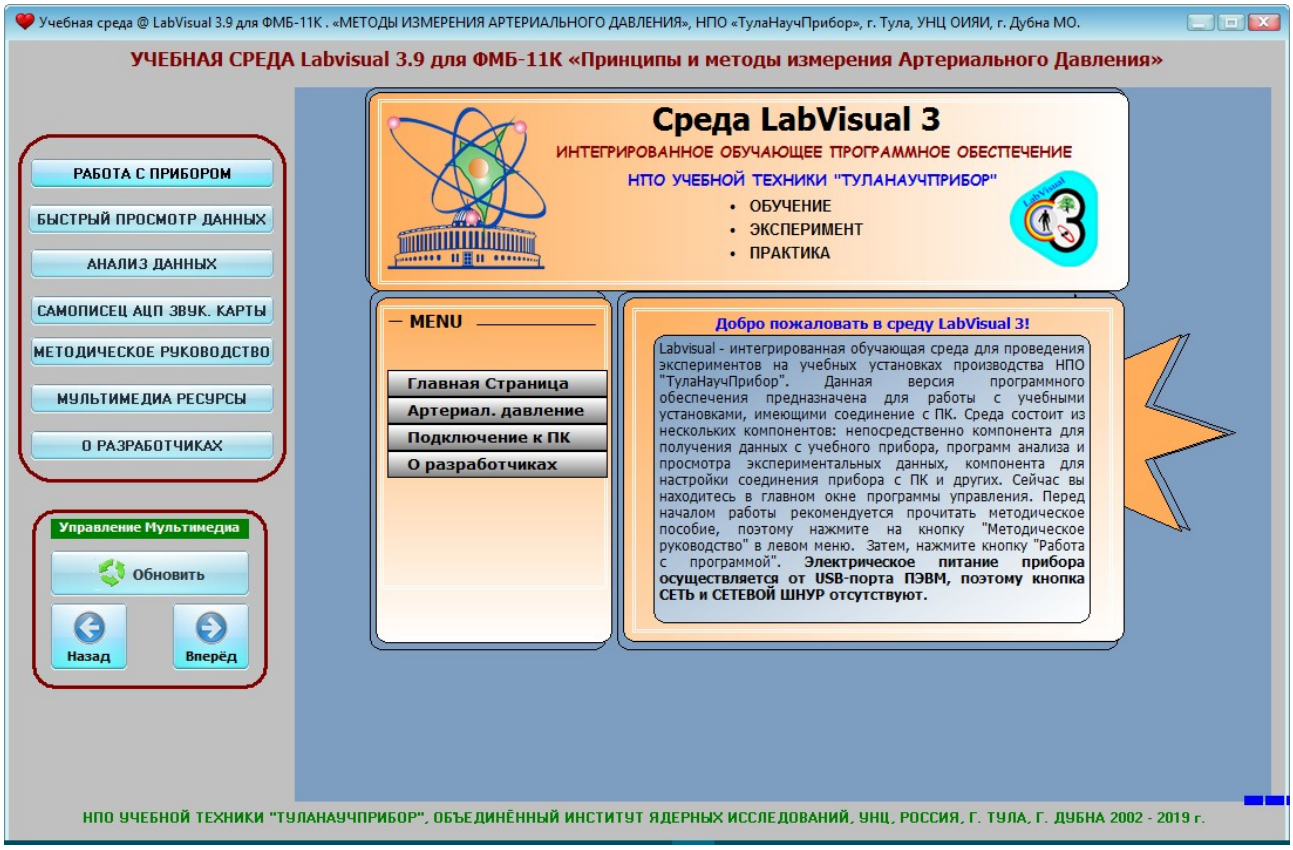


Рис. 4.2. Главное окно программы-оболочки LabVisual для работы с экспериментальной установкой ФМБ-11К.

Основным компонентом для работы с учебной установкой является встроенный USB – самописец (рис. 4.3). Самописец имеет три независимых канала измерения: 1) Сигнал напряжения с датчика давления MPXV5050 (красная кривая P), который одновременно подаётся на встроенный стрелочный измерительный прибор в программу LabvVisual, отградуированный в мм. рт. ст. а также на цифровой программный вольтметр; 2) Осцилляции давления Римп (желтая кривая) с выхода усилителя DA1 (см. рис. 3.1, 3.2); 3) Фонограмма тонов Короткова с пьезодатчика КТ-04 (U, Короткова, зеленая кривая) с выхода усилителя DA2 (см. рис. 3.1, 3.3).

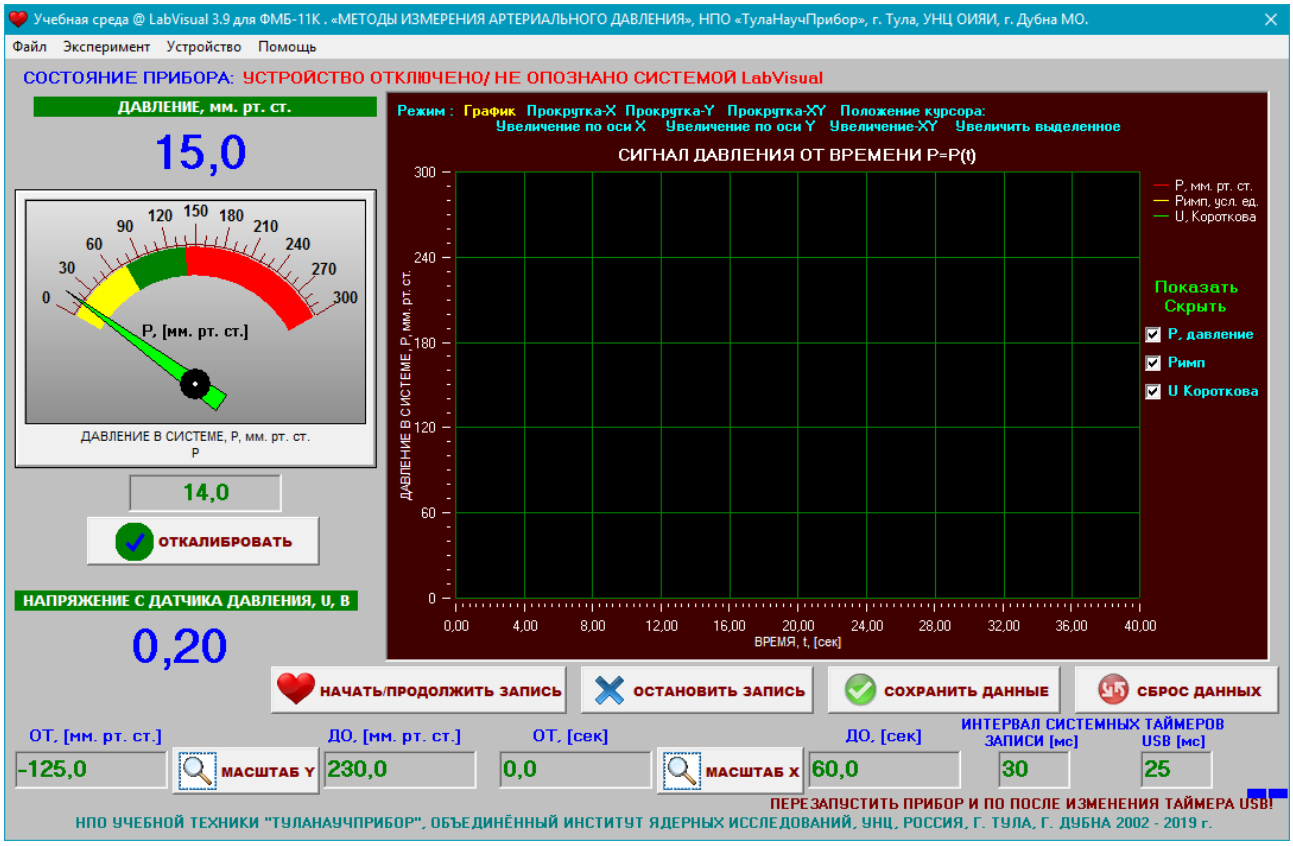


Рис. 4.3. Подпрограмма работы с USB — самописцем.

В верхней части окна самописца находятся пункты, нажатие на которые позволяет выбрать режим: график — основной режим с одновременным выводом трёх сигналов; различные режимы прокрутки и увеличения. Для установления точных координат (X, Y) в данной точке осциллограммы следует выбрать режим «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА», затем справа из списка (P, Римп, U Короткова) выбрать нужную осциллограмму, для которой необходимо уточнить координаты, и нажать левой кнопкой мыши на нужную точку на записанном графике. При этом пункт «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА» покажет значение X (время) и Y в данной точке. Перемещать курсор можно стрелками на клавиатуре. Время записи каждой осциллограммы ограничено двумя минутами, после чего буфер данных очищается, показания сбрасываются и запись начинается снова.

«ИНТЕРВАЛ ЗАПИСИ» определяет с какой периодичностью будут считываться данные из буфера приёма для построения осциллограммы. Чем этот интервал меньше, тем на самописце визуально будут отображаться более «правильные» осцилляции, т. к. будут считываться большее количество точек для построения сигнала. Однако, для слабых ПК это может создавать дополнительную нагрузку на процессор, в этом случае интервал нужно увеличить, например до 100 — 150 мс.

«ИНТЕРВАЛ USB» - основной интервал чтения данных по шине USB. После его изменения необходимо перезапустить прибор и программу. Установленные значения таймеров сохраняются в конфигурационном файле. По умолчанию «ИНТЕРВАЛ ЗАПИСИ» = 30 [мс], «ИНТЕРВАЛ USB»=25 [мс].

Пример работы с прибором, самописцем и обработка данных.

1) Наиболее удобно проводить эксперименты, в которых участвуют два человека: испытуемый (показания артериального давления которого будут измеряться) и экспериментатор (который будет управлять ходом эксперимента, запускать/останавливать измерения)

2) Испытуемый должен принять удобную позу для измерения АД (рис. 5.1)

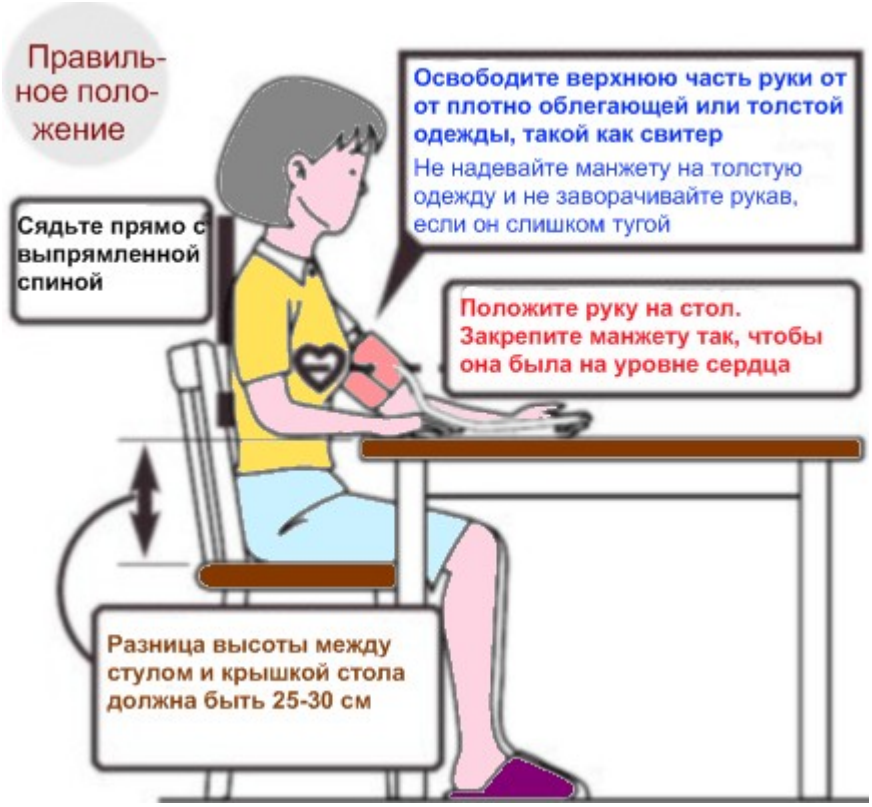


Рис. 5.1. Правильное положения для измерения АД сидя.

3) Манжету тонометра обернуть вокруг плеча испытуемого на расстоянии 2-3 см от внутренней линии сгиба руки в локте (средняя треть плеча). Крепить манжету следует плотно, но не туго, так, чтобы под манжетой с трудом помещался палец руки.

4) Собрать пневматическую систему согласно рис. 3.1, подключив через тройник пневматический вход учебной установки «ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ».

5) Под приблизительно середину манжеты рабочей стороной к артерии поместить датчик тонов Короткова КТ-04 и подключить его ко входу «ДАТЧИК КОРОТКОВА» учебной установки.

6) Запустить программное обеспечение LabVisual.

7) Подключить учебную установку к свободному USB – порту ПК.

8) Выполнить действия, описанные в пункте «Программная часть. Подготовка к работе» настоящего руководства.

9) Зашунтировать, нажав на кнопку SA1 (отключить от схемы, установив «открытый вход/выход») конденсатор С2 рис. 3.2 сигнала с датчика давления.

10) Подключить в схему конденсаторы С4 рис. 3.2 и С2 рис. 3.3, отжав кнопки SA2, SA3 (закрытый выход).

11) Откалибровать датчик давления, установив в программе в поле калибровка смещение около 12 — 16 единиц (начальный уровень) и нажать кнопку «ОТКАЛИБРОВАТЬ». При этом показания с датчика давления при не накачанной манжете обычно составляют 2 — 3 мм. рт. ст.

12) Проверьте, чтобы рука испытуемого, на которую надета манжета,

была расслаблена и лежала на столе ладонью вверх.

13) Регулирующий клапан, расположенный на груше закрыть, чтобы воздух не выходил из системы.

14) Экспериментатор нажимает кнопку «НАЧАТЬ ЗАПИСЬ» в программе управления учебной установкой и одновременно накачивает с помощью груши воздух в манжету до отметки приблизительно 180 мм рт.ст.

15) Далее экспериментатор начинает медленно выпускать воздух, приоткрывая регулирующий клапан. Это приведет к снижению давления в системе. Скорость спуска воздуха не должна превышать 5 — 7 мм рт. ст. в секунду. Слишком высокая скорость выпуска воздуха не позволяет получить достаточное число осцилляций, а слишком низкая — приводит к возникновению артефактов на графиках, в связи с длительным пережатием артерии.

16) При этом в окне самописца должны наблюдаться три сигнала — падающий во времени сигнал давления с системе, осцилляции давления и сигнал с пьезоэлектрического датчика Короткова (см. рис. 5.2)

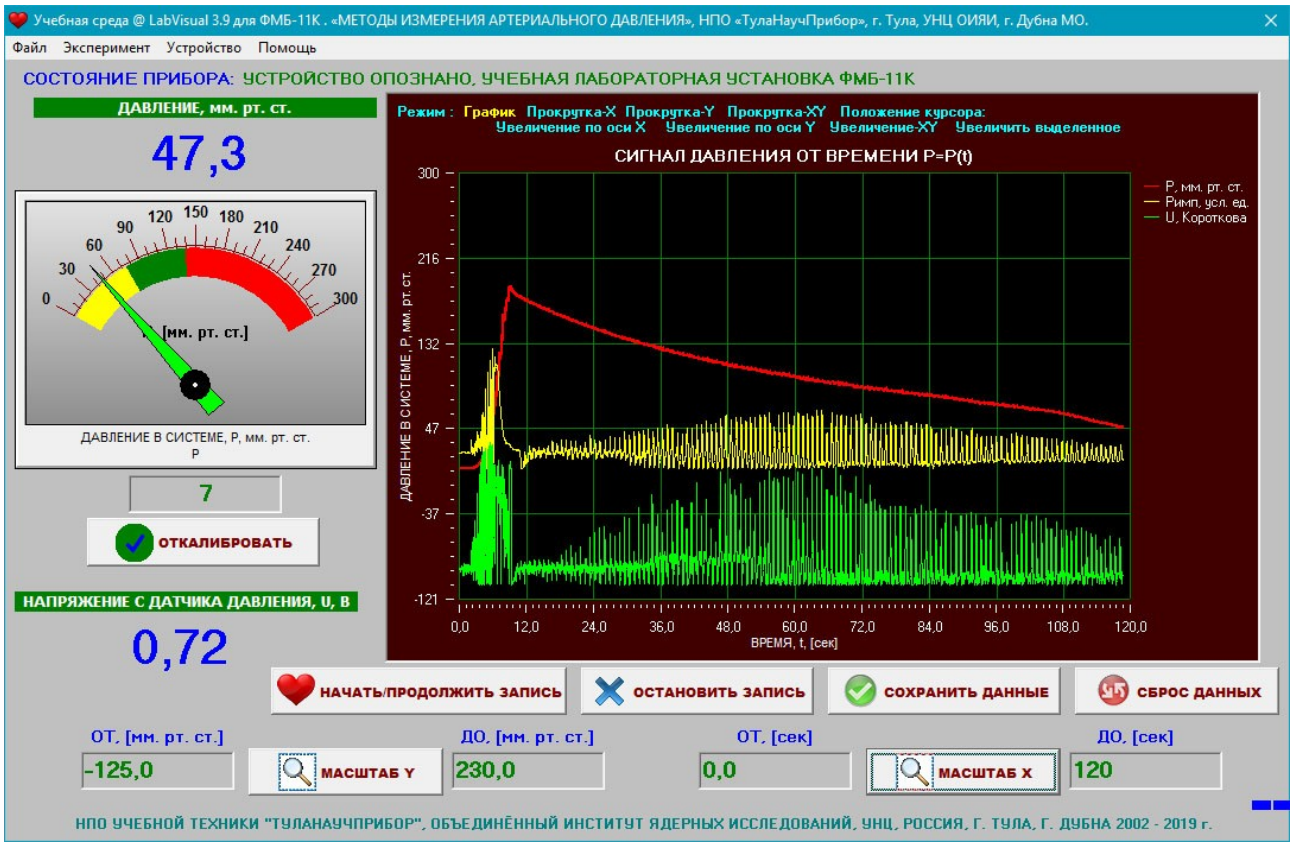


Рис. 5.2. Полученные в ходе эксперимента данные с датчика давления (красная кривая), осцилляции давления (желтая кривая) и сигнал с датчика Короткова (зеленая кривая).

17) При достижении давления в системе 50 — 60 мм.рт.ст. Остановить запись нажатием соответствующей кнопки и выпустить воздух из системы, полностью открыв пневмоклапан на груше.

18) Сигнал осцилляций давления (желтая кривая) и сигнал с датчика

Короткова (зеленая кривая) смещены относительно нуля для лучшей визуализации, поэтому перед началом обработки необходимо определить уровень изолинии A_0 (уровень «нуля») для каждой из кривых.

19) Увеличить и переместить в удобное место с помощью соответствующих кнопок полезную область сигнала и приступить к обработке осцилляций с датчика давления.

20) Нажать кнопку «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА», выбрать из списка справа Римп, усл. ед. и щелкнуть левой кнопкой мыши у самой нижней точке желтого графика (рис. 5.3).

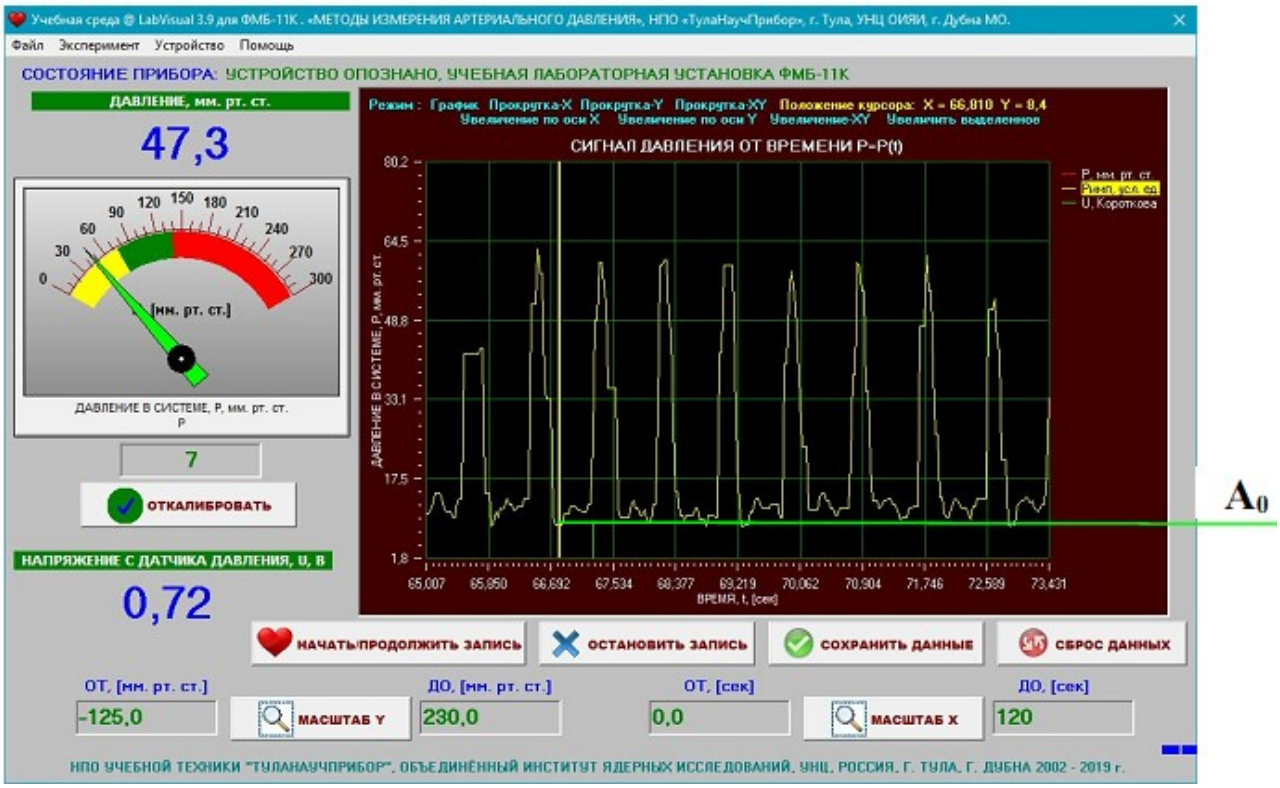


Рис. 5.3. Обработка осцилляций давления и определение уровня A_0 изолинии (нуля) сигнала

21) Координата Y нижней точки осцилляции будет равна нулевому уровню отсчёта A_0. Повторить это действие для 10 — 12 нижних точек и определить среднее значение $\langle A_0 \rangle$. Обычно для графика Римп $\langle A_0 \rangle \approx 8$ ед. Отметим, что для нахождения уровня по оси Y, график удобно перемещать вдоль данной оси, активировав режим → ПРОКРУТКА Y. При этом также очень удобно визуально определять координаты Ymax пиков, т. к. окно самописца снабжено линиями сетки с подписями, которые остаются неподвижны при перемещении графиков.

22) Согласно схеме рис. 8. визуально определить точку, в которой амплитуда импульсов достигает максимального значения Amax. Для этого в режиме «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА» следует щелкнуть левой кнопкой мыши на верхней точке пика, имеющего наибольшую амплитуду, считать координату Ymax и

вычислить Amax= Ymax — <A_0>. В случае рис. 5.2 Ymax≈65 ед, Amax≈57 ед. Можно также перемещать график по оси Y и добиваться совпадения верхней точки пика с линией сетки и считать подпись у данной линии сетки слева.

23) Сопоставить данной точке давление в системе с помощью графика P, мм. рт. ст. (красный). Для этого нажать кнопку «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА», выбрать из списка справа P мм.рт.ст. и щелкнуть левой кнопкой мыши на той точке красного графика, которая имеет туже координату X (время), что и центр пика с амплитудой Amax на желтом графике. Координата Y данной точке красного графика покажет среднее артериальное давление $P_{\max}=\overline{\text{АД}_{ср.\,дин}}$. В случае рис. 5.2 $P_{\max}=\overline{\text{АД}_{ср.\,дин}}\approx 95$ мм.рт.ст.

24) Вычислить значение $A_2=\frac{2}{3}\cdot A_{\max}\approx 38$ ед. Т. к. уровень нуля в нашем случае <A_0>≈8 ед., то на **левой** части от точки Amax желтого графика Римп следует искать пик с координатой вершины $Y_2=A_2+\langle A_0\rangle\approx 46$ ед.. Для поиска пика с координатой Y_2 удобно перемещать график по оси Y и добиваться совпадений верхних точек пиков с линией сетки, считывая подписи у данной линии сетки слева. Сопоставить данной точке давление в системе с помощью графика P, мм. рт. ст. (красный). Для этого нажать кнопку «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА», выбрать из списка справа P мм.рт.ст. и щелкнуть левой кнопкой мыши на той точке красного графика, которая имеет туже координату X (время), что и центр пика с амплитудой A_2 на желтом графике. Эта точка систолическое артериальное давление. В случае рис. 5.2 $\text{САД}\approx 115$ мм.рт.ст.

25) Вычислить значение $A_1=\frac{1}{2}\cdot A_{\max}\approx 28$ ед. Т. к. уровень нуля в нашем случае <A_0>≈8 ед., то на **правой** части от точки Amax желтого графика Римп следует искать пик с координатой вершины $Y_1=A_1+\langle A_0\rangle\approx 36$ ед.. Для поиска пика с координатой Y_1 удобно перемещать график по оси Y и добиваться совпадений верхних точек пиков с линией сетки, считывая подписи у данной линии сетки слева. Сопоставить данной точке давление в системе с помощью графика P, мм. рт. ст. (красный). Для этого нажать кнопку «ПОЛОЖЕНИЕ КУРСОРА», выбрать из списка справа P мм.рт.ст. и щелкнуть левой кнопкой мыши на той точке красного графика, которая имеет туже координату X (время), что и центр пика с амплитудой A_1 на желтом графике. Эта точка диастолическое артериальное давление. В случае рис. 5.2 $\text{ДАД}\approx 78$ мм.рт.ст.

26) Вычислить пульс (ЧСС) [ударов/мин.]. Для этого удобно определить время Δt по шкале времени в секундах N (обычно N=10) осцилляций и рассчитать пульс как $\text{ЧСС}=\frac{N}{\Delta t}\cdot 60$ [ударов/мин.]. Более точно ЧСС можно определить, подсчитав число осцилляций пульса N за достаточно большое фиксированное время Δt, например Δt=20 сек.

27) Аналогичные действия проделать при обработке сигнала с датчика Короткова. Уровень изолинии для данного типа датчика Короткова обычно ра-

вен $<A_0>\approx$ — 107 ед. Вычисления проводить аналогично пп. 20 — 26 **с учетом знаков!**

28) Более точный результат можно получить построив график зависимости амплитуд «осциллометрического пульса» каждой осцилляции от давления в манжете. Этот график называют «осциллометрической кривой», «колоколом» либо «огибающей». Из кривой следует убрать случайные ошибки некоторых измерений, когда амплитуда осцилляции «выбивается» из общего плавного ряда и «сгладить» кривую.

29) Здесь описан один из наиболее простых методов обработки результатов измерений, для более точного анализа существуют специальные математические алгоритмы работы с осциллометрической кривой, в том числе с помощью дифференциального исчисления.

30) **После перезагрузки ПК с подключённым к USB порту прибором, учебную установку следует переинициализировать, отключив и заново подключив шнур USB от прибора.**

Работа прибора с внешним самописцем CoolEdit Pro – LabVisual на базе АЦП линейного входа звуковой карты ПК.

Прибор имеет 4 аналоговых выхода, которые позволяют подавать получаемые с датчиков аналоговые сигналы на внешний самописец либо осциллограф:

XS – 1 – выход сигнала давления с датчика давления; XS – 2 – выход сигнала осцилляций давления с усилителя DA1; XS – 3 – выход сигнала с датчика тонов Короткова (фонограмма) с усилителя DA2; XS – 4 – выход прямоугольных калибровочных импульсов (П) положительной полярности с амплитудой $U_П$ = 0,5 В; частотой $\nu_П$=32,01 Гц; периодом $T_П$=31,2 мс и длительностью $\Delta t_П$=3 мс.

Компонент « Самописец CoolEdit Pro» вызывается из основной программы командой Эксперимент → Самописец на базе АЦП Звуковой Карты ПК.

Рассмотрим кратко работу прибора и определение ЧСС по осцилляциям, полученным с АЦП линейного входа звуковой карты ПК. Работа внешних самописцев других типов как правило описана в документации к ним.

Перед началом работы следует настроить линейный вход компьютера. При этом следует включить линейный вход звуковой карты в системе и настроить усиление Line In средствами операционной системы. Процедура настройки зависит от звуковой карты, в общем случае следует два раза щелкнуть правой кнопкой мыши на значок «ЗВУК», обычно располагающийся в системной области уведомлений и выбрать ПАРАМЕТРЫ → СВОЙСТВА→Устройства Записи. Для некоторых моделей звуковых карт регулировка линейного входа возможна с помощью программ, поставляемых в комплекте с драйверами для звуковой карты (например встроенные звуковые карты Realtek). При работе в Windows 7 следует проверить, включен ли линейный вход ПК. Для этого следует нажать правой кнопкой мыши на значок громкость в панели задач, щёлкнуть левой кнопкой «ЗАПИСЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА», в появившемся диалоговом окне щёлкнуть правой кнопкой мыши и поставить галочки «ПОКАЗАТЬ ОТКЛЮЧЕННЫЕ УСТРОЙСТВА» и «ПОКАЗАТЬ ОТСОЕДИНЁННЫЕ УСТРОЙСТВА» рис. 6.1.

Дважды щёлкнув левой кнопкой мыши в окне на значке линейного входа, открыть диалоговое окно настройки рис. 6.2, выбрать вкладку «УРОВНИ» и установить значение усиления 30 — 70 % (зависит от модели звуковой карты).

Далее необходимо настроить программу CoolEdit Pro для получения и отображения сигнала с устройства. Для этого следует воспользоваться главным меню программы, выбрав пункт Options → Settings и перейти на вкладку Devices. Откроется вкладка настройки устройства приема сигнала рис. 6.3 в котором следует выбрать необходимое устройство записи «WaveForm Record».

На вкладке General меню Settings следует поставить галочку «Live update during record» для отображения сигнала во время записи в режиме реального времени (рис. 6.3 стрелка).

На вкладке System следует поставить галочку у пункта **«Asynchronous Access».**

После произведенных настроек желательно перезапустить программу.

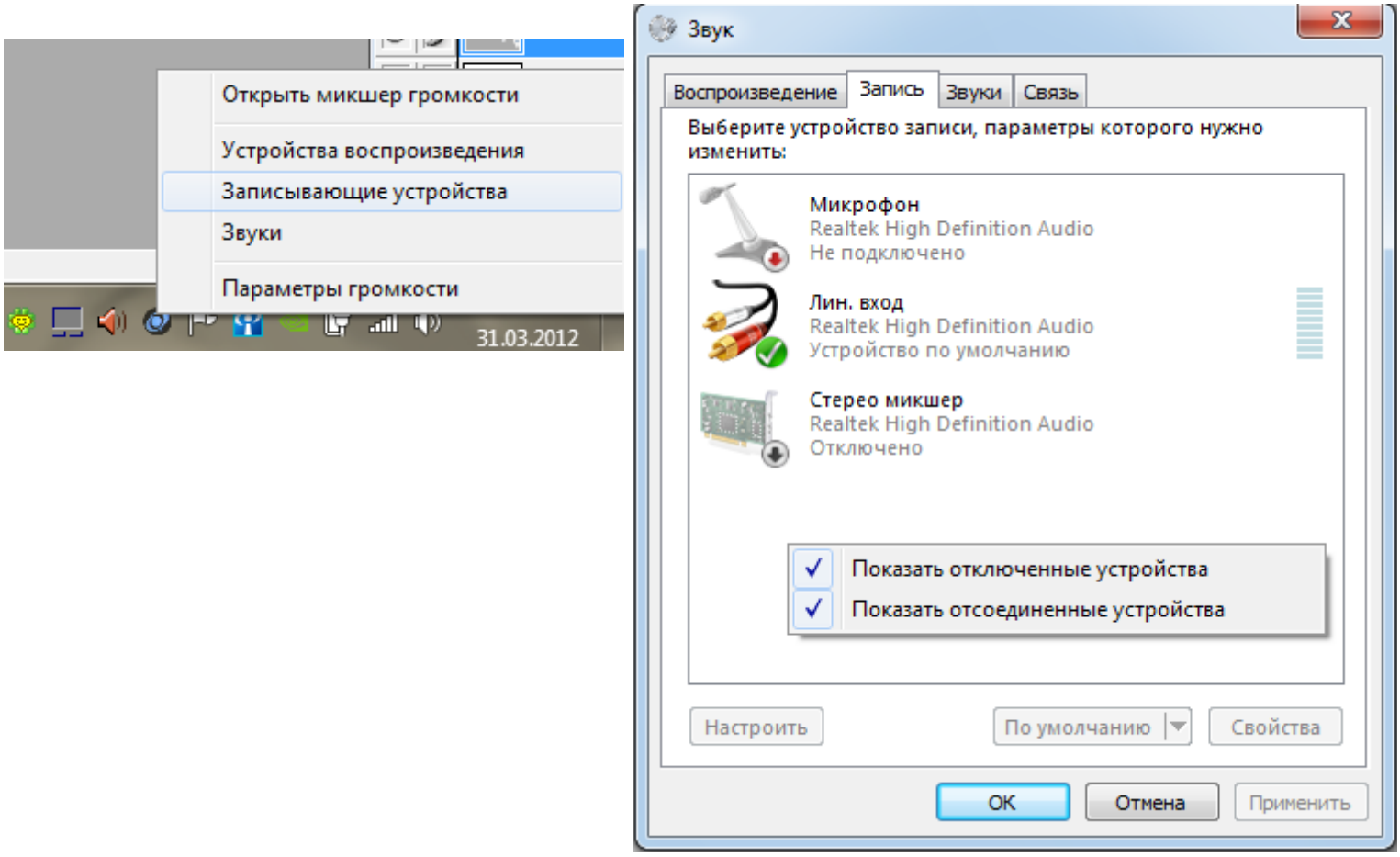


Рисунок 6.1. Настройка линейного входа звуковой карты ПК на ОС Windows 7.

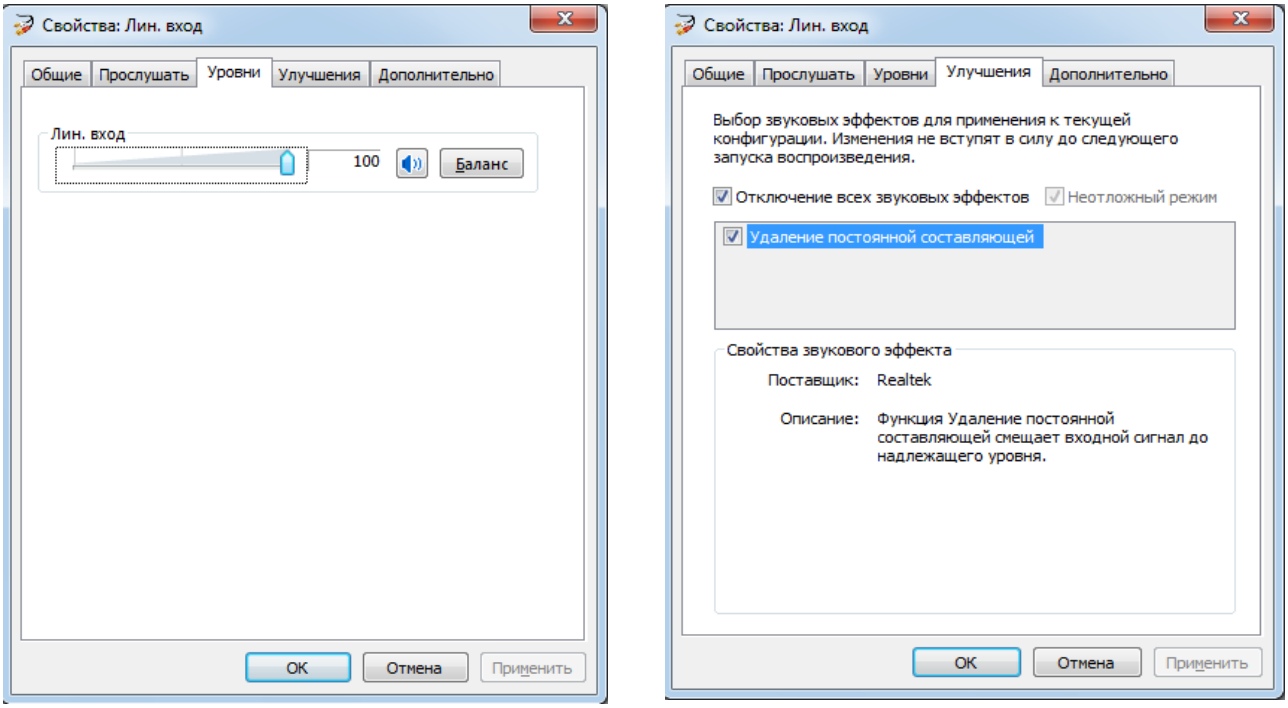
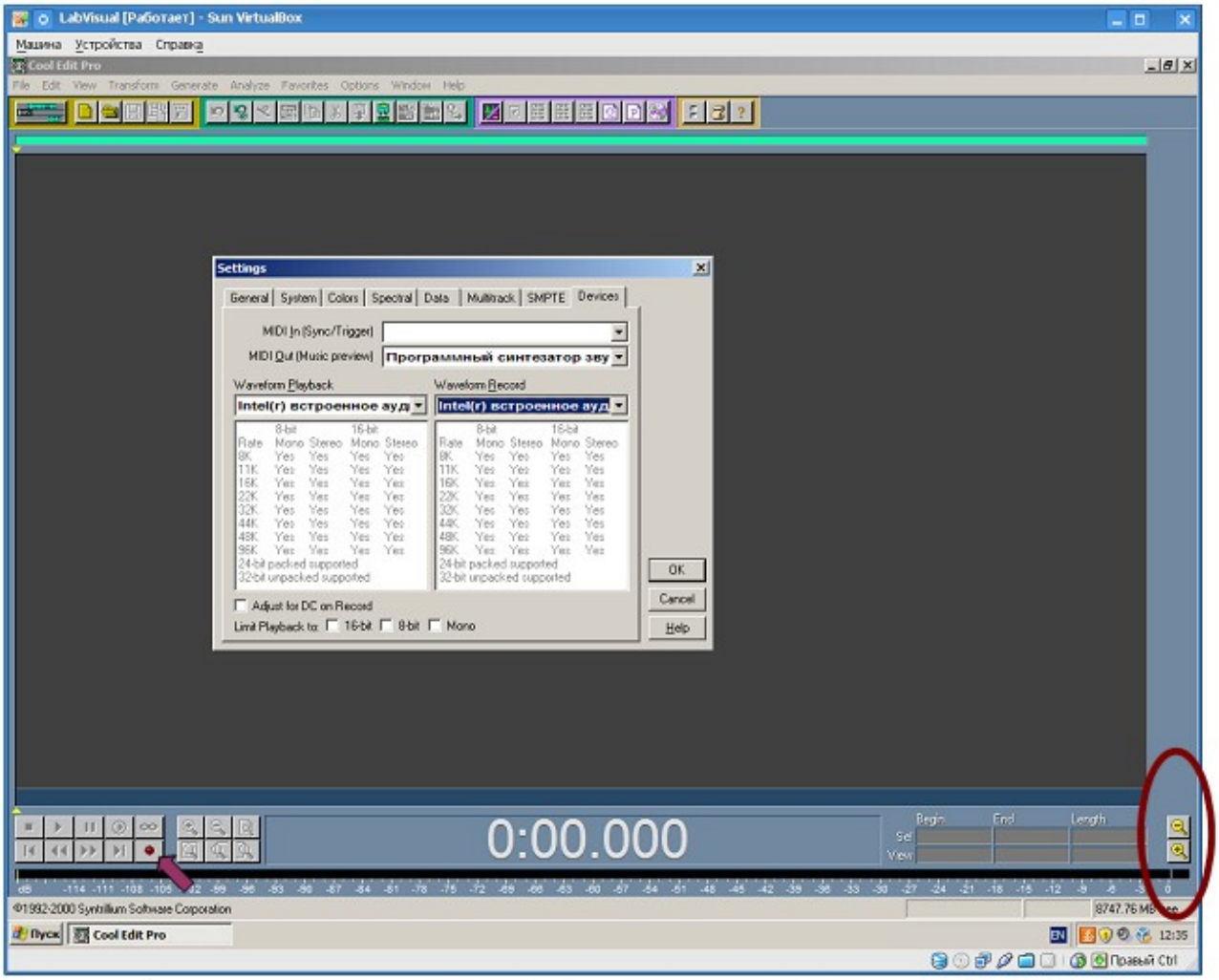


Рисунок 6.2. Дополнительные настройки линейного входа звуковой карты ПК на ОС Windows 7.



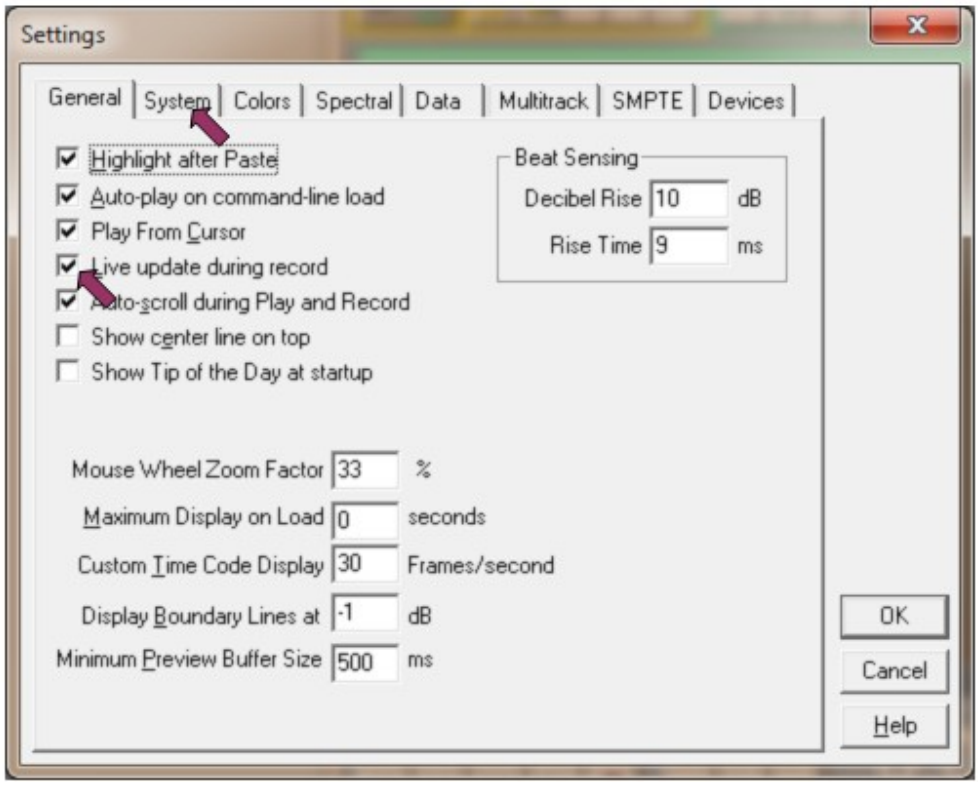


Рис.6.3. Настройка самописца для регистрации сигналов.

Предварительно в программе CoolEdit Pro необходимо создать новый проект, воспользовавшись командой File-New. В настройках проекта выбрать частоту дискретизации «Sample Rate» (рекомендуется 44100), Channel – режим «Mono» и Resolution – 16 Bit.

Для начала записи сигнала, поступающего на линейный вход ПК, нажмите кнопку «ЗАПИСЬ» на панели управления программы CoolEdit Pro (указатель на рис. 6.3). При необходимости, во время записи можно увеличить амплитуду записываемого сигнала с помощью кнопок управления амплитудой по оси Оу в программе (выделены эллипсом на рис. 6.3).

В некоторых звуковых картах вход Line IN инвертирует входящий сигнал, таким образом осцилляции будут отображаться «перевернутыми». В этом случае, после записи сигнала в главном меню программы выбрать пункт Transform→Invert. Для того, чтобы определить, инвертирует ли линейный вход АЦП вашей звуковой карты сигнал и для калибровки оси Оу в реальных значения [Вольт/дел.], следует подать на линейный вход калибровочный импульс с клеммы XS4 учебного прибора и включить генератор нажатием кнопки SA4. **Установка при этом должна быть подключена к USB – порту ПК, т. к. через него осуществляется питание прибора +5 В.** Выходные контрольные точки XS1 – XS4 соединяются с линейным входом с помощью специального кабеля из комплекта JACK 3,5 – 2RCA (тюльпан).

Если полученный сигнал имеет вид рис. 6.4 (положительной полярности), то звуковая карта не инвертирует входящие сигналы, в противном случае, после записи сигналов следует их выделять в программе мышью и воспользоваться пунктом Transform→Invert.

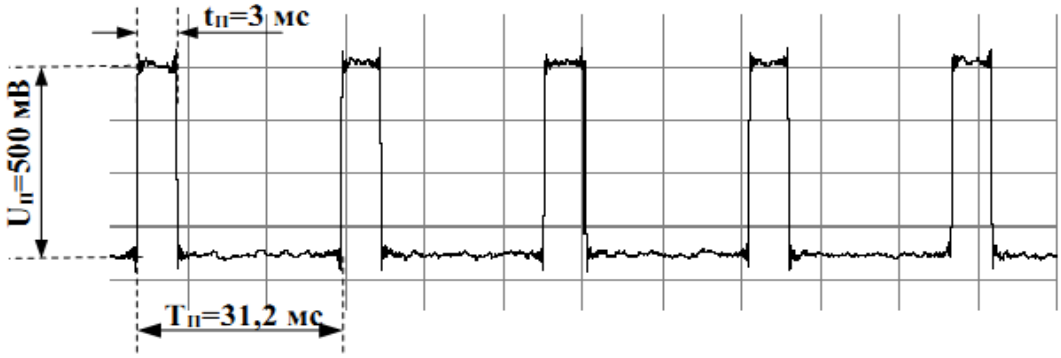


Рис. 6.4. Правильный вид калибровочных импульсов.

По записанным калибровочным импульсам определите коэффициент чувствительности оси Оу самописца в данном режиме как $K_Y = \frac{U_П}{\Delta Y}$, где $U_П$=500 мВ — амплитуда прямоугольных импульсов, ΔY – число клеток по оси Y, занимаемое импульсом. Из рис. 6.4 можно определить, что $K_Y = \frac{500}{3{,}5} \approx 143$ мВ/дел .

Пример работы с прибором и самописцем на базе LINE IN ПК.

1. Наиболее удобно проводить эксперименты, в которых участвуют два человека: испытуемый (показания артериального давления которого будут измеряться) и экспериментатор (который будет управлять ходом эксперимента, запускать/останавливать измерения)
2. Испытуемый должен принять удобную позу для измерения АД (рис. 5.1).
3. Манжету тонометра обернуть вокруг плеча испытуемого на расстоянии 2-3 см от внутренней линии сгиба руки в локте (средняя треть плеча). Крепить манжету следует плотно, но не туго, так, чтобы под манжетой с трудом помещался палец руки.
4. Собрать пневматическую систему согласно рис. 3.1, подключив через тройник пневматический вход учебной установки «ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ».
5. Под приблизительно середину манжеты рабочей стороной к артерии поместить датчик тонов Короткова КТ-04 и подключить его ко входу «ДАТЧИК КОРОТКОВА» учебной установки.
6. Запустить программное обеспечение LabVisual.
7. Подключить учебную установку к свободному USB – порту ПК.
8. Сигнал с датчика давления рис. 3.2, клемма XS1 в данном режиме корректно получить не удается, т. к. звуковая карта на входе постоянно имеет подключенный конденсатор.
9. Настроить программное обеспечение на прием сигналов с линейного входа ПК.
10. Установить, инвертирует ли Ваша звуковая карта входные сигналы. Для этого подать на линейный вход сигнал с контрольной клеммы XS4 (П — калибровочные импульсы). Выходные контрольные точки XS1 – XS4 соединяются с линейным входом с помощью специального кабеля из комплекта JACK 3,5 – 2RCA (тюльпан). Включить генератор рис. 3.4 кнопкой SA4 «ГЕНЕРАТОР ВКЛ/ВЫКЛ».
11. В главном окне программы CoolEdit Pro командой File→New создать новый проект. В настройках проекта выбрать частоту дискретизации «Sample Rate» (рекомендуется 44100), Channel – режим «Mono» и Resolution – 16 Bit.
12. Для начала записи сигнала, поступающего на линейный вход ПК нажмите кнопку «ЗАПИСЬ» на панели управления программы CoolEdit Pro (выделена стрелкой на рис. 6.3, 6.5.

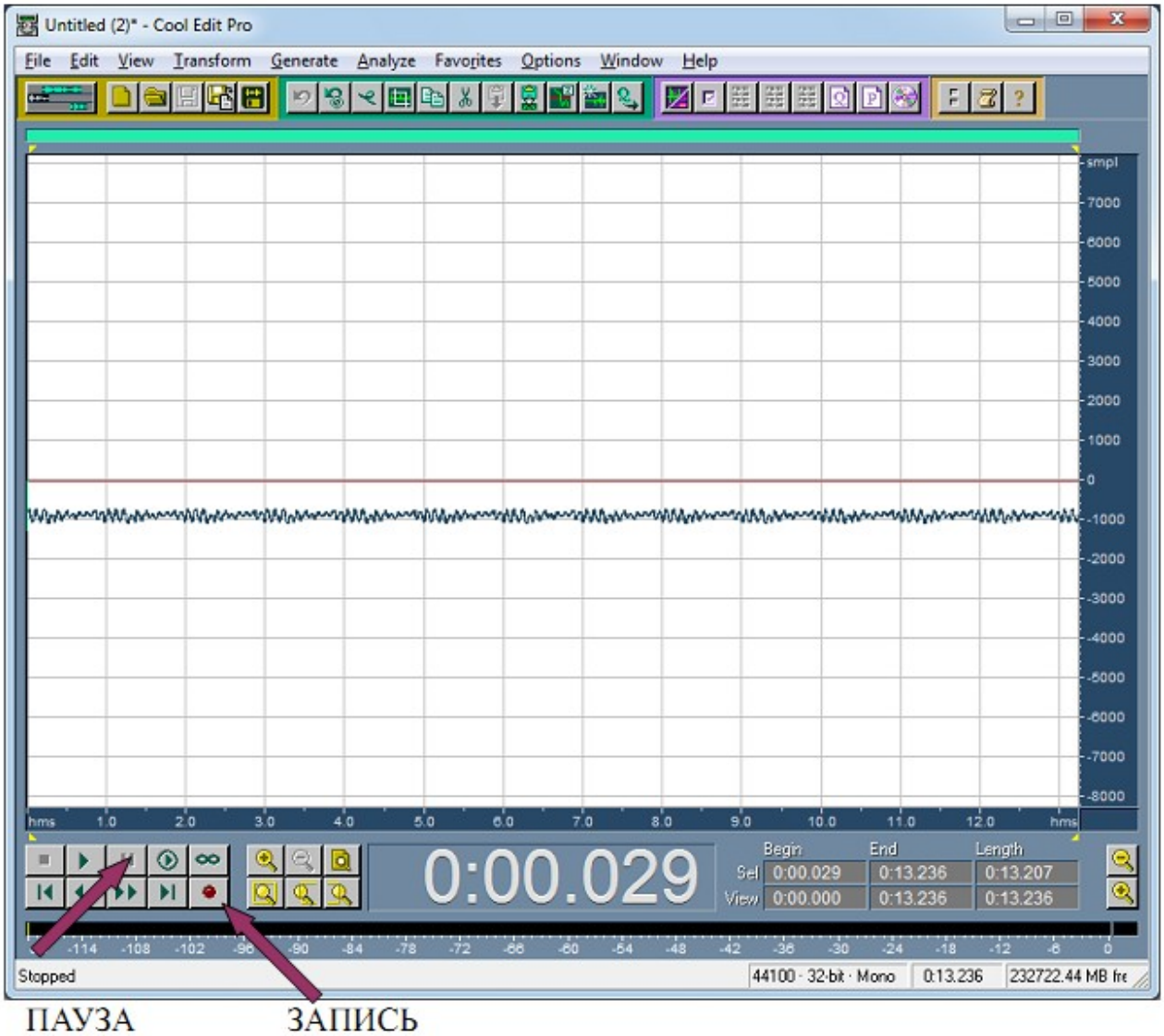


Рис.6.5. Один из сигналов (в данном случае ЭЭГ), полученный с помощью самописца.

13. Во время записи в случае необходимости следует увеличить амплитуду записываемого сигнала с помощью кнопок управления амплитудой по оси Оу в программе (выделены эллипсом на рис. 6.3).
14. Записывать калибровочные импульсы в течение 5-10 секунд, после чего нажать на кнопку **«ПАУЗА ||»** в программе Cool Edit Pro (см. рис. 6.5).
15. В случае инвертирования сигнала, калибровочный импульс будет отображаться «перевернутым». Тогда, после записи сигнала, следует выделить некоторый фрагмент кривой и в главном меню программы выбрать пункт Transform→Invert. При этом сигнал выбранного фрагмента проинвертируется и примет привычный вид.
16. В программе предусмотрена возможность выделения нужного фрагмента по времени. Выделение осуществляется удерживая левую кнопку мыши, после чего необходимо нажать кнопку «Zoom to Selection» в про-

грамме. Таким образом, можно изменить масштаб по оси Ox (времени). Текущее положение курсора указывается большими цифрами под графиком в формате **минуты:секунды.миллисекунды.**

17. Начало, конец и длительность выделения указывается табличке, расположенной справа от больших цифр: Sel Begin, Sel End, Sel Length рис. 6.6.

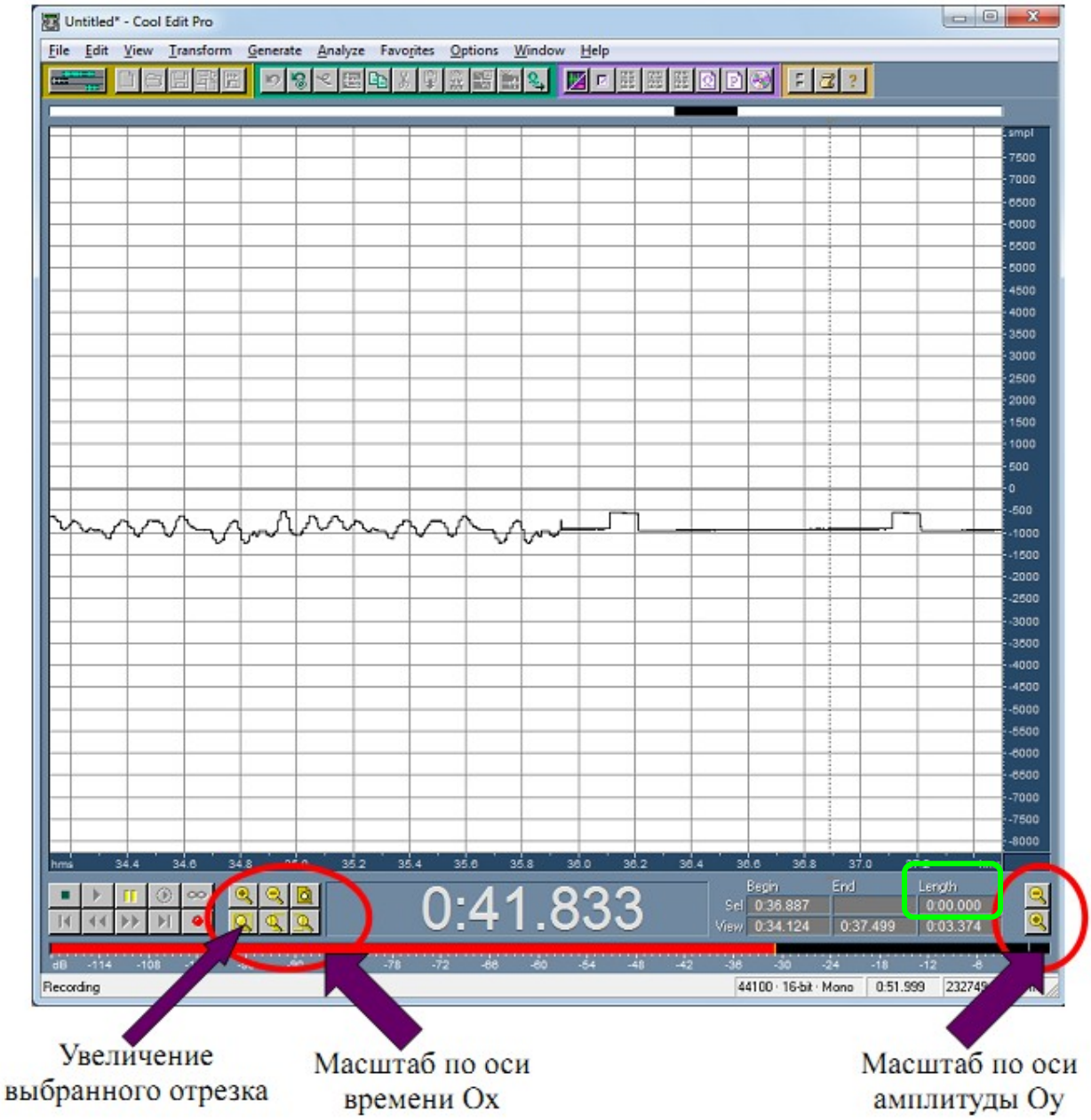


Рис. 6.6. Изменение масштаба по осям координат.

18. Выделив два калибровочных импульса, проверить временные интервалы и сравнить их с показаниями программы. Выделение осуществлять удерживая левую кнопку мыши, после чего нажать кнопку «Zoom to Selection» масштаба по оси Ox (находится прямо под кнопкой с изображением лупы со знаком + рис. 6.6). Масштаб по оси Oy не изменять. Измеренное время

показывается в табличке, располагающейся справа от больших цифр в клетке «Sel Length» (выделена на рис. 6.6 зеленой рамкой).

19. Подать сигнал с клеммы XS – 2 (выход сигнала осцилляций давления с усилителя DA1 рис. 3.2) на линейный вход звуковой карты ПК.
20. Проверьте, чтобы рука испытуемого, на которую надета манжета, была расслаблена и лежала на столе ладонью вверх.
21. Регулирующий клапан, расположенный на груше закрыть, чтобы воздух не выходил из системы.
22. Экспериментатор повторно нажимает кнопку **«ПАУЗА ||»** в программе CoolEdit Pro (либо кнопку «ЗАПИСЬ») и одновременно накачивает с помощью груши воздух в манжету до отметки приблизительно 180 мм рт.ст. **При этом амплитуду по оси Оу (делитель) не менять.**
23. Далее экспериментатор начинает медленно выпускать воздух, приоткрывая регулирующий клапан. Это приведет к снижению давления в системе. Скорость спуска воздуха не должна превышать 5 — 7 мм рт. ст. в секунду. Слишком высокая скорость выпуска воздуха не позволяет получить достаточное число осцилляций, а слишком низкая — приводит к возникновению артефактов на графиках, в связи с длительным пережатием артерии.
24. При этом в окне самописца должен наблюдаться сигнал осцилляции давления в манжете рис. 6.7.

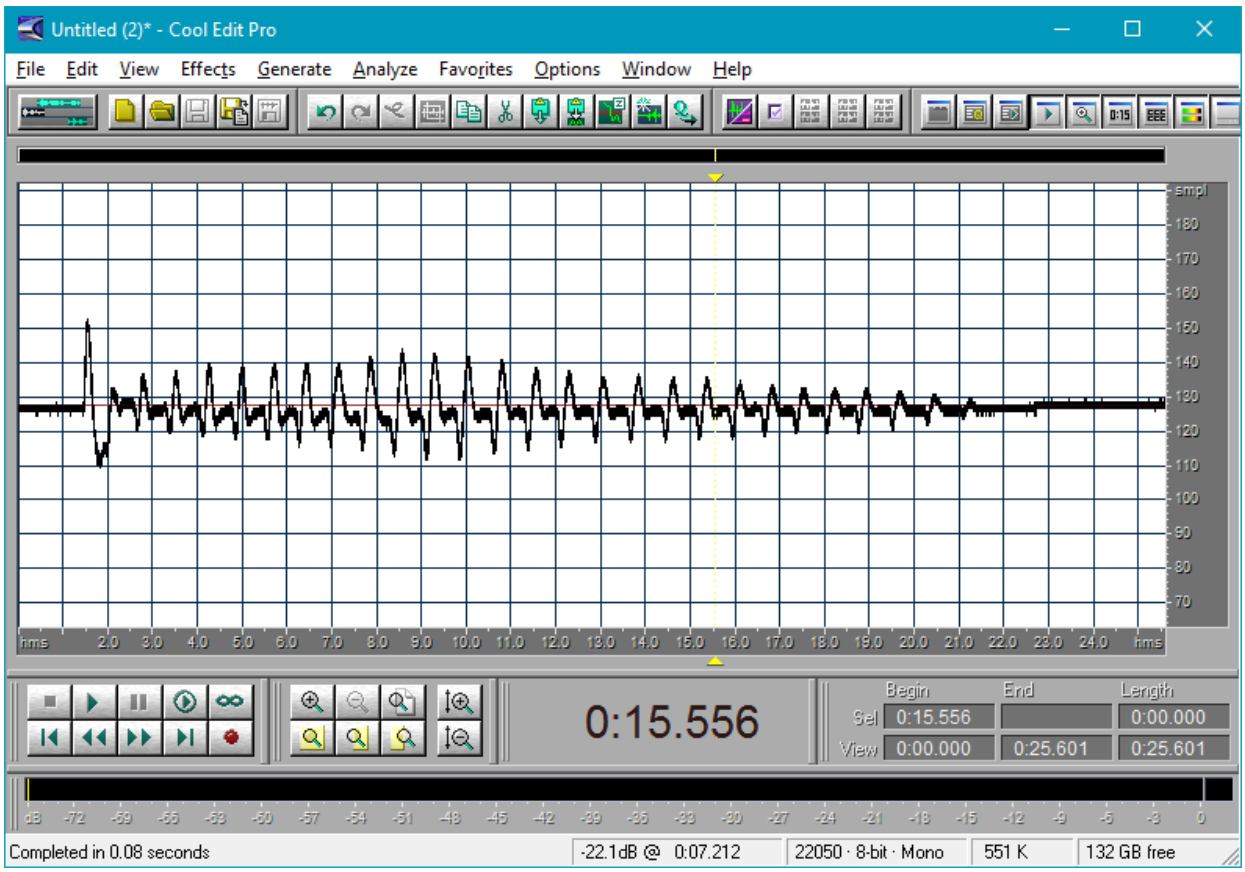


Рис. 6.7. Осцилляции давления в манжете, записанные АЦП Line In ПК.

25. При достижении давления в системе 50 — 60 мм.рт.ст. остановить запись нажатием соответствующей кнопки и выпустить воздух из системы, полностью открыв пневмоклапан на груше.
26. Полученные кривые можно экспортировать в формат mp3 командой File-Save As..., где в диалоговом окне сохранения выбрать тип файла mp3. Сохраненные файлы mp3 можно загружать в программу командой File-Open.
27. Измерить амплитуды всех видимых вами на выделенном отрезке пиков осцилляций в клетках координатной сетки в программе, и, зная значение коэффициента чувствительности K_Y, вычислить амплитуды в [мВ] как $A_n=K_Y\cdot \Delta y_n$ [мВ], где Δy_n – количество клеток по оси Oy, занимаемое пиком с условным номером n, A_n — его амплитуда в милливольтах.
28. Вычислить пульс (ЧСС) [ударов/мин.]. Для этого удобно определить время Δt по шкале времени в секундах N (обычно N=10) осцилляций и рассчитать пульс как $\text{ЧСС}=\frac{N}{\Delta t}\cdot 60$ [ударов/мин.]. Более точно ЧСС можно определить, подсчитав число осцилляций пульса N за достаточно большое фиксированное время Δt, например Δt=20 сек.
29. Т. к. коэффициент усиления усилителя DA1, с которого подаётся сигнал на контрольную точку XS2 (рис. 3.2) равен $K_{\text{УС. DA1}}=130$ единиц, то истинная амплитуда пульсаций пика с номером n будет $A_{\text{n ист}}=\frac{A_{\text{n}}}{K_{\text{УС. DA1}}}$ [мВ].
30. Используя градуировочный график датчика (см. приложение) можно пересчитать амплитуду пульсаций $A_{\text{n ист}}$ из [мВ] в единицы давления [кПа] либо [мм.рт.ст.]. 1 [кПа]=7,5 [мм.рт.ст.].
31. Аналогичные действия проделать для получения и обработки сигнала с датчика Короткова. Для этого подать сигнал с клеммы XS – 3 (выход сигнала с усилителя DA2 датчика КТ-04 рис. 3.3) на линейный вход звуковой карты ПК.
32. Согласно методике, предложенной выше, установите по шкале времени время, когда было достигнуто систолическое давление $t_{\text{САД}}$, среднее давление (импульсы с максимальной амплитудой Amax) $t_{\overline{\text{АД}_{ср.\,дин}}}$ и диастолическое давление $t_{\text{ДАД}}$. Величину давления P в системе при использовании самописца на базе звуковой карты ПК установить не удаётся, т. к. сигнал давления с клеммы XS1 невозможно корректно записать из за наличия на линейном входе постоянно подключенного конденсатора.

Общий порядок выполнения работы.

Задание 1. Работа со встроенным USB – самописцем.

1. Изучите принципиальные электрические схемы рис. 3.1 — 3.4.
2. Наиболее удобно проводить эксперименты, в которых участвуют два человека: испытуемый (показания артериального давления которого будут измеряться) и экспериментатор (который будет управлять ходом эксперимента, запускать/останавливать измерения).
3. Собрать пневматическую систему согласно рис. 3.1, подключив через тройник пневматический вход учебной установки «ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ».
4. Под приблизительно середину манжеты рабочей стороной к артерии поместить датчик тонов Короткова КТ-04 и подключить его ко входу «ДАТЧИК КОРОТКОВА» учебной установки.
5. Испытуемый должен принять удобную позу для измерения АД (рис. 5.1).
6. Подключить учебную установку к свободному USB – порту ПК и запустить программное обеспечение LabVisual. При этом на учебной установке должен засветиться индикатор СЕТЬ. Прибор питается от USB – порта ПК, поэтому кнопка «СЕТЬ» и сетевой кабель отсутствуют.
7. Выполнить измерения, согласно предложенной методике в параграфе «**Пример работы с прибором, самописцем и обработка данных».**
8. По окончании измерений отключить учебную установку от USB – порта ПК. **После перезагрузки ПК с подключённым к USB порту прибором, учебную установку следует переинициализировать, отключив и заново подключив шнур USB от прибора.**

Задание 2. Работа с самописцем на базе LINE IN звуковой карты.

1. Изучите принципиальные электрические схемы рис. 3.1 — 3.4.
2. Наиболее удобно проводить эксперименты, в которых участвуют два человека: испытуемый (показания артериального давления которого будут измеряться) и экспериментатор (который будет управлять ходом эксперимента, запускать/останавливать измерения).
3. Собрать пневматическую систему согласно рис. 3.1, подключив через тройник пневматический вход учебной установки «ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ».
4. Под приблизительно середину манжеты рабочей стороной к артерии поместить датчик тонов Короткова КТ-04 и подключить его ко входу «ДАТЧИК КОРОТКОВА» учебной установки.
5. Испытуемый должен принять удобную позу для измерения АД (рис. 5.1).
6. Подключить учебную установку к свободному USB – порту ПК и запустить программное обеспечение LabVisual. При этом на учебной установке должен засветиться индикатор СЕТЬ. Прибор питается от USB – порта ПК, поэтому кнопка «СЕТЬ» и сетевой кабель отсутствуют.
7. Подключить одну их клемм XS2 – XS4 к линейному входу ПК проводом типа jack 3,5 - 2RCA из комплекта.
8. Выполнить измерения, согласно предложенной методике в параграфе «**Работа прибора с внешним самописцем CoolEdit Pro – LabVisual на базе АЦП линейного входа звуковой карты ПК.».**
9. По окончании измерений отключить учебную установку от USB – порта ПК. **После перезагрузки ПК с подключённым к USB порту прибором, учебную установку следует переинициализировать, отключив и заново подключив шнур USB от прибора.**

Задание 3. Измерение АД с помощью механического тонометра.

1. Наиболее удобно проводить эксперименты, в которых участвуют два человека: испытуемый (показания артериального давления которого будут измеряться) и экспериментатор (который будет управлять ходом эксперимента, запускать/останавливать измерения).
2. Собрать пневматическую систему согласно рис. 3.1, подключив через тройник пневматический вход учебной установки «ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ». В данном режиме датчик используется как «пневмозаглушка», а сам блок управления ФМБ-11 можно не использовать и к ПК не подключать. Однако использование самописцев позволит в on-line режиме наблюдать за осцилляциями на экране компьютера с одновременным прослушиванием тонов Короткова фонендоскопом (стетоскопом).
3. Манжету тонометра обернуть вокруг плеча испытуемого на расстоянии 2-3 см от внутренней линии сгиба руки в локте (средняя треть плеча). Крепить манжету следует плотно, но не туго, так, чтобы под манжетой с трудом помещался палец руки.
4. Проверьте, чтобы рука испытуемого, на которую надета манжета, была расслаблена и лежала на столе ладонью вверх.
5. Слуховые трубки фонендоскопа вставить в уши, головку установить под нижний край манжеты на артерии в области локтевой ямки. Регулирующий клапан закрыть, чтобы воздух не выходил из системы.
6. Накачайте с помощью груши воздух в манжету до момента, когда никаких звуков слышно не будет (приблизительно до отметки 170-180 мм рт.ст.). Потом начните медленно выпускать воздух, приоткрывая регулирующий клапан. Это приведет к снижению давления в манжете. Скорость спуска поддерживайте на уровне 5 мм.рт.ст. в секунду.
7. Прослушивайте тоны. Когда в трубке фонендоскопа появятся пульсирующие звуки, отметьте показания манометра и запишите значение верхнего (систолического) давления. Когда звуки в трубке исчезнут, запишите значение нижнего (диастолического) давления.

Задание 4. Расчет основных показателей.

1. По результатам предыдущих измерений вычислите среднее значение систолического, диастолического и среднего артериального давления у данного испытуемого.
2. Вычислите среднее динамическое артериальное давление по формуле Вецлера-Богера (1.1) и Хикема (1.2).
3. Рассчитайте пульсовое давление по формуле:

ПД=САД — ДАД

4. Рассчитайте нормальное для возраста испытуемого значение САД и ДАД по формулам (1.3), (1.4).

Задание 5. Определение артериального давления методом Рива-Роччи.

1. Пальпаторный метод Рива-Роччи позволяет определить только максимальное давление.
2. Исследование проводится при помощи манжетки, накладываемой на плечо, как и в задании 3. В манжетке создается давление, превышающее уровень максимального давления в лучевой артерии. При этом пульсация ее прекращается.
3. Снижая давление в манжетке, отмечают показания манометра в момент появления пульса. Эти показания соответствуют максимальному (систолическому) давлению в лучевой артерии.

Задание 6. Оценка влияния физической нагрузки на результат измерения АД.

1. Испытуемый усаживается на стул. Измерьте его давление (САД, ДАД) и пульс (ЧСС) с помощью одного из методов, например методом Короткова на слух.
2. Снимите манжету с испытуемого.
3. Испытуемому необходимо сделать 15 -20 приседаний.
4. Быстро оденьте манжету. Измеряйте АД и пульс у испытуемого с интервалом 1 мин до тех пор, пока показатели не вернутся к исходным величинам. Результаты измерений занесите в Таблицу №1. Сделайте вывод о действии физической нагрузки на значение АД и пульса. При оценке результатов учесть, что в норме гемодинамические показатели человека (Пульс и АД) устанавливаются в течение 3 — 5 мин по окончании физической нагрузки.

Таблица 1

Результаты измерения АД

Показатель	В покое	Через 1 мин после нагрузки	Через 2 мин после нагрузки	Через 3 мин после нагрузки
САД, мм рт.ст.				
ДАД, мм рт.ст.				
Пульс, уд/мин				

Задание 7. Определение минутного объема крови в покое и после физической нагрузки.

Для оценки состояния аппарата кровообращения наряду с другими показателями используют величину минутного объема крови (МОК). Степень нарастания минутного объема крови при нагрузках дает наиболее точное представление о работоспособности аппарата кровообращения. Косвенное определение систолического и минутного объемов проводится с помощью эмпирической формулы, предложенной Старром. Формула учитывает величины давления (т. к. имеется определенный параллелизм между систолическим объемом и пульсовым давлением, помноженным на частоту пульса) и возраст испытуемого, определяющего в значительной степени упруго-вязкие свойства артериальной стенки:

$$СО = 90{,}97 + 0{,}54 \cdot ПД - 0{,}57 \cdot ДАД - 0{,}61 \cdot В \quad (3.1)$$

$$МОК = СО \cdot ЧСС \quad (3.2)$$

где СО — систолический (ударный) объем, мл; МОК — минутный объём крови (мл); ПД — пульсовое давление, мм рт. ст.; ДАД — диастолическое давление, мм рт. ст.; В — возраст, годы.

В норме СО в покое — 70-80 мл, а при нагрузке — 140 - 170 мл.

В норме величина минутного объема МОК, по данным механокардиографического метода, колеблется в пределах от 3 до 6 л. В среднем нормальная величина МО в покое составляет 3,5—5,5 л. По данным других авторов, величина минутного объема составляет 3—5 и 6—8 л. При физических нагрузках минутный объем может достигать 18—28 и даже 30 л.

1. У испытуемого в состоянии покоя измеряют по методу Короткова артериальное давление (АД сист. и АД диаст.), определяют величину пульсового давления (ПД) (ПД = АД сист. – АД диаст.), подсчитывают частоту пульса в 1 минуту, выясняют возраст испытуемого.
2. Полученные данные подставляют в формулы (3.1), (3.2) для определения систолического и минутного объема крови и делают расчеты.
3. Затем испытуемому предлагают выполнить дозированную физическую нагрузку: 20 приседаний за 30 секунд.
4. После прекращения физических упражнений повторно определяют показатели, входящие в формулы для расчета систолического и минутного объема крови.
5. Рассчитывают систолический и минутный объем крови после физической нагрузки.
6. Величину минутного объема крови после физической нагрузки сравнивают с величиной минутного объема крови в покое.

У нетренированных людей минутный объем крови увеличивается обычно за счет учащения сердечных сокращений. У тренированных людей при работе средней тяжести происходит увеличение систолического объема и гораздо меньшее, чем у нетренированных, учащение сердечных сокращений.

Задание 8. Определение периферического сопротивления сосудов (ПСС) в состоянии покоя и при дозированной физической нагрузке.

Периферическое сопротивление кровеносных сосудов (ПСС) является важным показателем состояния тонуса сосудов, в основном, артерий мышечного типа и артериол, то есть как раз того участка сердечно-сосудистой системы, который воспринимает и гуморальные, и нервные влияния, является основным участком регулирования притока артериальной крови к тканям.

Периферическое сопротивление сосудов измеряют в [дин·с·см$^{-5}$] или условных единицах. Величина периферического сопротивления вычисляется по следующим полуэмпирическим формулам:

$$ПСС = \frac{\overline{АД_{ср.дин}} \cdot 60}{МОК} \text{ [у. е.]}; \quad ПСС = \frac{\overline{АД_{ср.дин}} \cdot 60 \cdot 1333}{МОК} \left[\frac{дин \cdot с}{см^5}\right] \quad (4.1)$$

Где ПСС – периферическое сопротивление сосудов;

$\overline{АД_{ср.дин}}$ – артериальное давление среднее, определяемое по формуле Вецлера-Богера (1.1) либо Хикема (1.2).

ПД - пульсовое давление (ПД=САД — ДАД) ;

МОК – минутный объем кровообращения (МОК = СО х ЧСС);

ЧСС – частота сердечных сокращений;

СО – систолический объем крови;

1333 - коэффициент для перевода условных единиц в дины.

В норме ПСС равно 900—2500 [дин·с·см$^{-5}$]. Этот показатель важен для оценки изменения тонуса сосудов при различных физиологических состояниях. Например, известно, что у здоровых людей под влиянием физической нагрузки (к примеру, проба Мартина: 20 приседаний за 30 с) ПСС снижается при неизменном уровне среднего динамического давления. При гипертонической болезни имеет место значительный рост ПСС: в покое у таких больных ПСС может достигать 5000— 7000 [дин·с·см$^{-5}$]. Для расчёта необходимо знать объёмную скорость кровотока и величину среднего динамического давления.

1. У испытуемого измеряют систолическое и диастолическое артериальное давление и пульс в состоянии мышечного покоя.
2. Рассчитывают периферическое сопротивление сосудов в состоянии мышечного покоя.
3. Испытуемому предлагают выполнить стандартную физическую нагрузку (20 приседаний за 30 секунд).
4. Измеряют систолическое и диастолическое артериальное давление и пульс после выполнения нагрузки.
5. Рассчитывают периферическое сопротивление сосудов после выполнения физической нагрузки.
6. Сравнивают рассчитанное периферическое сопротивление сосудов в состоянии покоя и после выполнения мышечной нагрузки.
7. Запишите данные измерения АД и ЧСС и значения ПСС в покое и после выполнения нагрузки. Сделайте вывод об изменении ПСС под влиянием физической нагрузки.

Задание 9. Градуировка датчика давления.

1. Собрать пневматическую систему согласно рис. 3.1, подключив через тройник пневматический вход учебной установки «ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ».
2. Подключить учебную установку к свободному USB – порту ПК и запустить программное обеспечение LabVisual. При этом на учебной установке должен засветиться индикатор СЕТЬ. Прибор питается от USB – порта ПК, поэтому кнопка «СЕТЬ» и сетевой кабель отсутствуют.
3. Регулирующий клапан, расположенный на груше закрыть, чтобы воздух не выходил из системы.
4. Экспериментатор следит за показаниями цифрового вольтметра «НАПРЯЖЕНИЕ С ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ, U, В» в программе управления учебной установкой и одновременно накачивает с помощью груши воздух в манжету до отметки приблизительно 180 мм рт.ст, записывая в таблицу 2 показания механического манометра и вольтметра. Для удобства манжету можно надеть вместо руки на пластиковое основание (труба, бутылка и т. п.).

Таблица 2

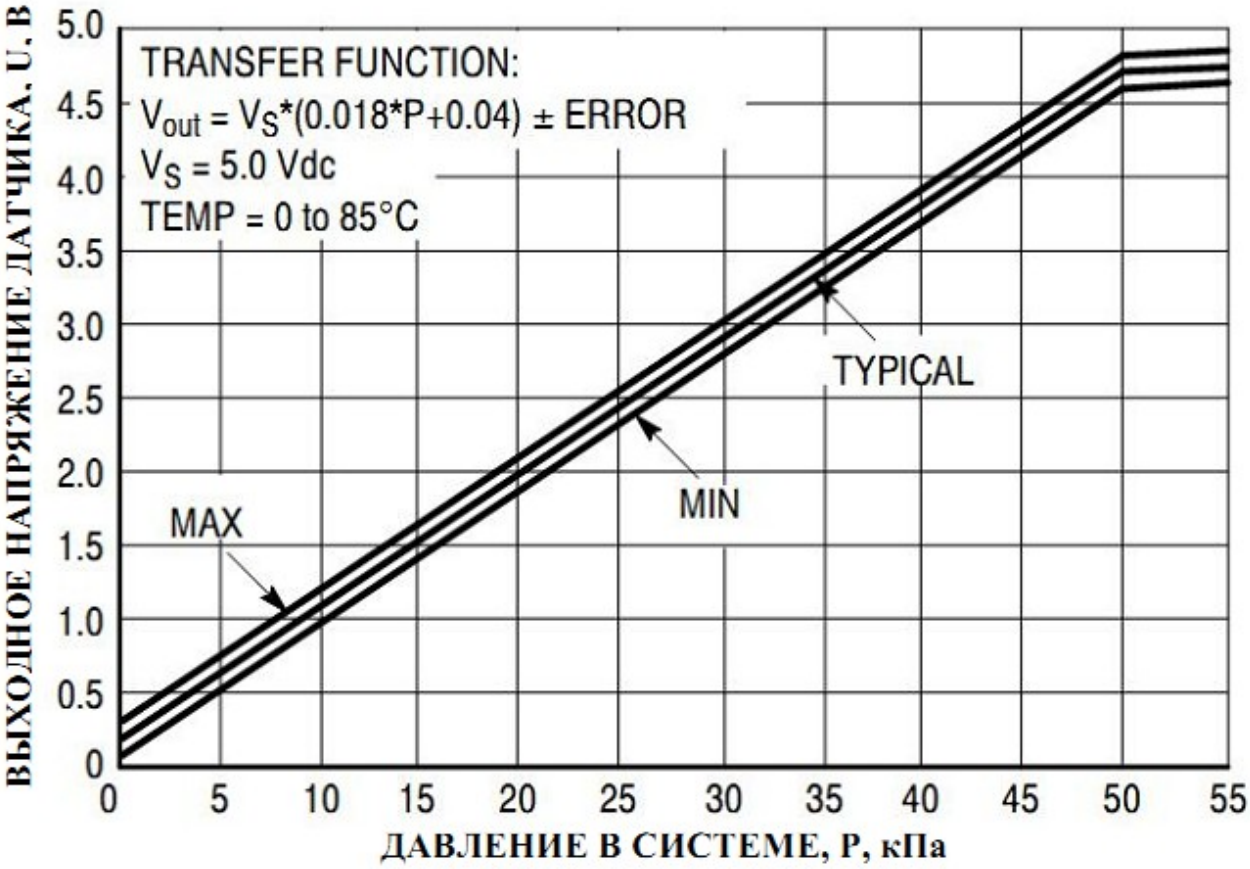
Выходное напряжение с датчика давления, $U_{вых}$, В	…	…	…	…
Показания механического манометра, P, мм. рт. ст.	…	…	…	…
Показания механического манометра, P, кПа	…	…	…	…

5. По полученным данным построить график зависимости выходного напряжения с датчика от давления в системе $U_{вых}=U_{вых}(P)$, предварительно следует перевести каждое значение давления из [мм рт.ст] в [кПа].

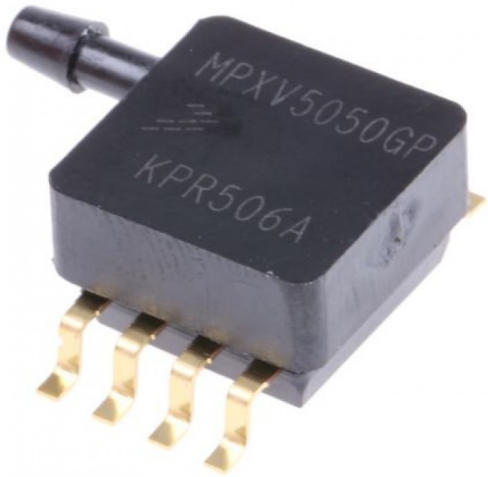
1 [мм.рт.ст] = 0,1333 [кПа]

6. Сравнить полученный график с эталонным градуировочным графиком, приведённом в приложении.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Градуировочная кривая датчика давления MPX5050 MPXV5050G SERIES.



Nominal Transfer Value: $V_{out} = V_S\ (P \times 0.018 + 0.04)$
+/- (Pressure Error x Temp. Factor x 0.018 x V_S)
$V_S = 5.0\ V \pm 0.25\ Vdc$



ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»