

Часть 2, Анализ формулы (8).

Часть 2.1. Постановка проблемы

Формула (8) в модели – это итоговая формула, способная напрямую показать, как зависит размах амплитуды "осциллограммы" от различных переменных, в т.ч. и от Среднего Артериального Давления. Отсутствие в статье графиков на основе формулы (8) воспринимается как недостаток, явное "белое пятно".

Зачем ссылаться не субъективно кажущуюся схожесть отдельных сгенерированных "осциллограмм" с реальными полиграммами, когда можно построить графики формулы (8), способных наглядно и объективно продемонстрировать исследуемую зависимость размаха давления в манжете от среднего артериального давления?

Тем более, что с генерированием "осциллограмм" через систему моделирования кардиосигнала есть серьезные проблемы.

Часть 2.2. Проблема моделирования изменения артериального давления.

Давайте обратим внимание, что используемая для моделирования изменения давления формула (5a) в модели Бэббса, а также разработанная на её основе формула (7) в модели Леткова (Летков, стр. 11) – это пример некорректного отражения физики и физиологии работы сердечно-сосудистой системы математическими средствами.

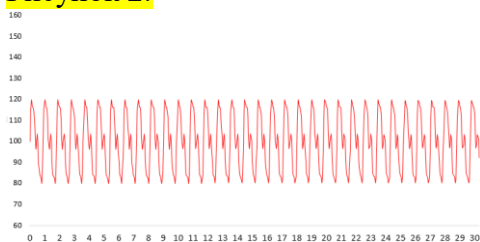
Сама формула в статье Бэббса представлена следующим образом.

Рисунок 1.

$$P_a = DBP + 0.5PP + 0.36PP \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{2} \sin(2\omega t) + \frac{1}{4} \sin(3\omega t) \right] \quad (5a)$$

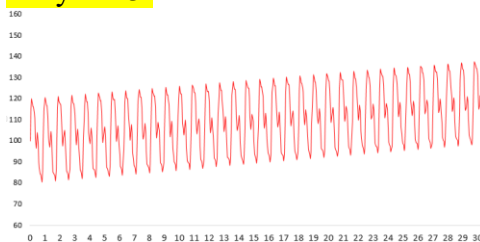
Первая часть формулы $DBP + 0,5PP$ задаёт некую среднюю горизонтальную ось, относительно которой в большую и меньшую сторону происходят пульсовые колебания, задаваемые синусоидальной частью.

Рисунок 2.



Если в формуле последовательно увеличивать значения диастолического давления, DBP, то происходит общий подъем "осциллограммы", который можно интерпретировать как увеличение среднего артериального давления.

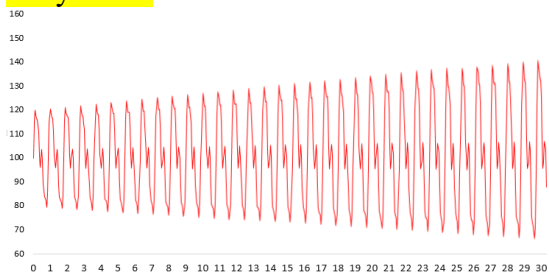
Рисунок 3.



Но что если в формуле увеличивать не DBP, а пульсовое давление, PP?

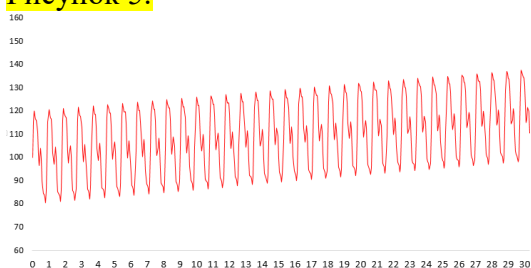
Элементарные здравомыслие и знание работы сердечно-сосудистой системы подсказывают, что за счёт увеличения пульсового давления размах сигнала должен был бы увеличиться... ну... например, как то так...

Рисунок 4.



Но нет... При увеличении пульсового давления РР формула крышесдвигательно продолжает поднимать вверх всю конструкцию, оставляя ее размах неизменным так, будто переменная РР остается константой:

Рисунок 5.



В принципе, если напрячь мозги, то эта особенность видна и просто по самой формуле... но показать эффект изобразительными средствами – гораздо наглядней.

Обязательно справедливости ради стоит указать, что используемая в статье Бэббса формула (5) разработана не лично им, а взята из каких-то источников. При этом сам Бэббс в своей статье оговаривает, что используемая им формула для моделирования кардиосигнала предназначена лишь для первоначального тестирования в простейших случаях. К таким простейшим случаям как раз и относится случай измерения давления осциллометрическим методом в модели Бэббса. Так что у него – всё корректно.

К чему это? К тому, что в статье Леткова не представлено такого варианта "осциллограммы", когда моделирование увеличения Среднего Артериального Давления по формуле (7) происходит за счет увеличения пульсового давления. Это не в возможностях формулы (7). А было бы интересно взглянуть...

В свете того, что формула (7) в модели Леткова, используемая для моделирование кардиосигнала, обладает очень ограниченными возможностями для адекватного отражения реальности, тем более было бы особо важно показать работу итоговой формулы (8) в графическом представлении со всеми тонкостями.

Попробуем это сделать.

Часть 2.3. Две формулы (8)

В модели Леткова формула (8) представлена следующим образом (Летков, стр. 14):

Рисунок 6.

$$\Delta p_r \leq \frac{2aV_{a0}sh(b\Delta p_a)}{b\beta V_{m0}e^{b(p_{a0} - p_{m0})}}$$

В ситуации полиграфного тестирования в формуле (8) всего две меняющиеся переменные: ΔPa и Pa_0 . Чтобы строить графики зависимости по этой формуле, необходимо просто заменить их численными значениями.

Кажется вроде бы всё просто. Но в формуле (8) переменная Pa_0 физически зависит от переменной ΔPa за счёт того, что $Pa_0 = (ДАД + 0,5ПД)$. То есть изменение ΔPa должно менять Pa_0 . Если численно менять ΔPa , а значения переменной Pa_0 оставлять неизменными, формула будет выдавать некорректные значения.

Но при этом формула написана так, что переменные ΔPa и Pa_0 представлены в ней как самостоятельные, независимые. Даже если помнить, что $Pa_0 = (ДАД + 0,5ПД)$, то надо ещё догадаться, что $0,5ПД$ – это и есть ΔPa . "Инструкции по эксплуатации" формулы (8) нет.

Вот уверен, что у полиграфологов и так крыша уехала просто от прочтения предшествующих пары абзацев – что там чего от чего и как? где там что кому? зачем что-то на что-то менять?

А тут ещё надо вспомнить, что введение понятия "Среднее Артериальное Давление" в модели Леткова нет. И формула $Pa_0 = (ДАД + 0,5ПД)$ – это просто удобное сокращение выражения. А если его развернуть в формуле, то сама формула перестаёт зависеть от переменной Pa_0 и начинает зависеть отдельно от ДАД и отдельно от ПД. Что, в совокупности, в корне обнуляет зависимость размаха давления в манжете, вычисленной по формуле (8), от Среднего Артериального Давления.

Выход простой – построить графики по формуле (8) в обоих вариантах: когда значения Pa_0 задаются численно, независимо от ΔPa , и когда значения Pa_0 рассчитываются по формуле $Pa_0 = ДАД + 0,5ПД$.

Полезно увидеть, какие выходные данные получаются с обоими входными вариантами. Поэтому формула (8) берется для расчетов в двух видах.

Запишу их в более наглядном и удобном для пользования виде (99,9% полиграфологов точно не знают, что такое $\{b \cdot \Delta Pa\}$):

Рисунок 7.

$$\Delta p_r = \frac{a}{b} * \frac{Va_0 * (Pm_0 + 760)}{Vm_0} * [e^{b \cdot 0,5ПД} - e^{-b \cdot 0,5ПД}] / e^{b(CpAD - Pm_0)} \quad (8.2Л)$$

Рисунок 8.

$$\Delta p_r = \frac{a}{b} * \frac{Va_0 * (Pm_0 + 760)}{Vm_0} * [e^{b \cdot 0,5ПД} - e^{-b \cdot 0,5ПД}] / e^{b(ДАД + 0,5ПД - Pm_0)} \quad (8.3Л)$$

Часть 2.4. Графики на основе формулы (8).

Графики представлены двумя картинками: левая и правая.

Слева картинка – графически задаёт входные параметры, показывает, каким образом моделируется изменение давления, что происходит с Диастолическим Артериальным Давлением, Систолическим Артериальным Давлением, Пульсовым Давлением, за счёт чего происходит изменение Среднего Артериального Давления: задается ли оно как есть численно (формула 8.2Л), или же вычисляется по формуле $ДАД + 0,5ПД$ (формула 8.3Л).

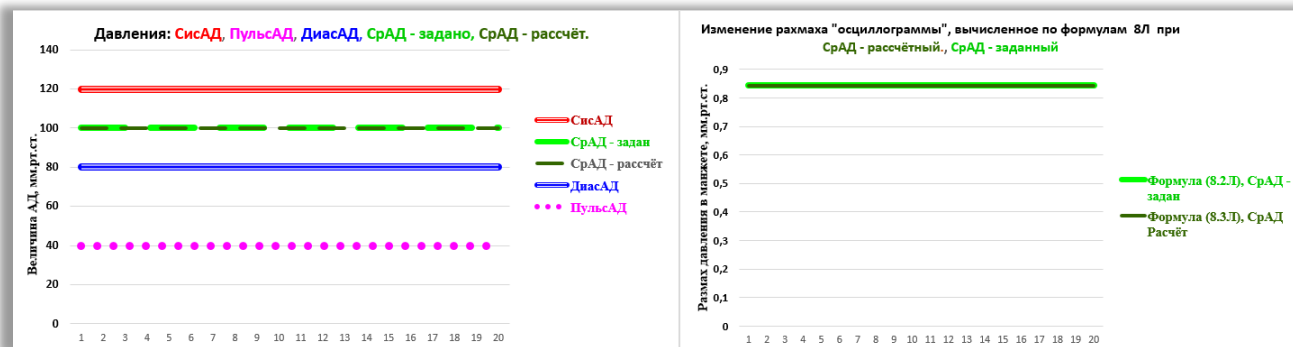
Справа картинка – графически показывает выходной параметр, размах "осциллограммы", рассчитанный по формуле (8).

В совокупности обе картинки иллюстрируют, как меняется размах давления в манжете при изменениях давлений на картинке слева. Значимые моменты выделены красным шрифтом.

Вариант 1, тестовый. Левая картинка демонстрирует отсутствие изменений давления, все виды давления имеют постоянное значение.

Правая картинка показывает, что изменений размаха давления в манжете также нет.

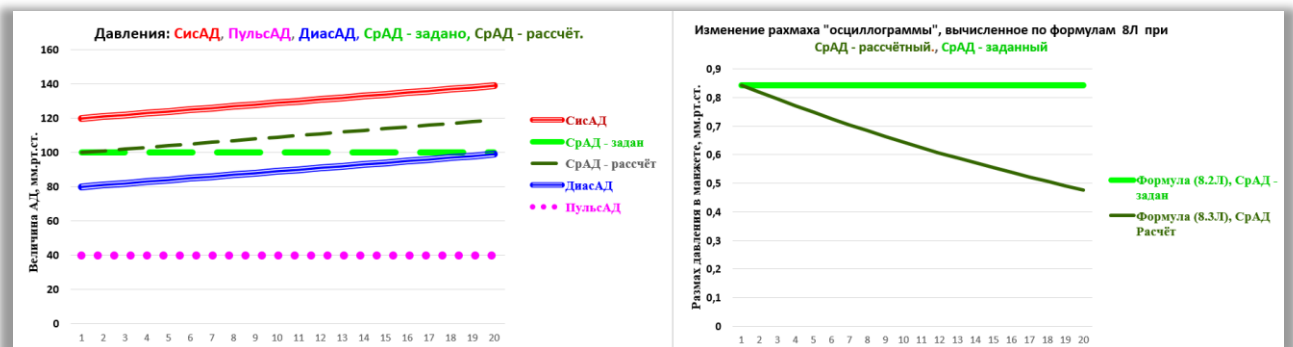
Рисунок 9.



Вариант 2, левая картинка показывает изменение среднего расчётного давления за счет изменения диастолического давления. Пульсовое давление остаётся неизменным, поэтому равномерно поднимается как Диастола, так и Систола. Расчетное Среднее Артериальное Давление также поднимается. Но оригинальная формула (8) не "знает", что меняется диастолическое давление, поскольку в ней используется переменная P_{a0} , СрАД, значения которой не рассчитываются, а задаются вручную. Поэтому оставляем его таким как есть, чтобы показать разницу в работе итоговых формул.

Правая картинка: "классика жанра". Уменьшается размах амплитуды давления в манжете для увеличивающегося расчетного Среднего Артериального Давления. Если же величину Среднего Артериального Давления не менять вручную, то размах амплитуды давления в манжете, рассчитанный по оригинальной формуле (8), остаётся неизменным.

Рисунок 10.

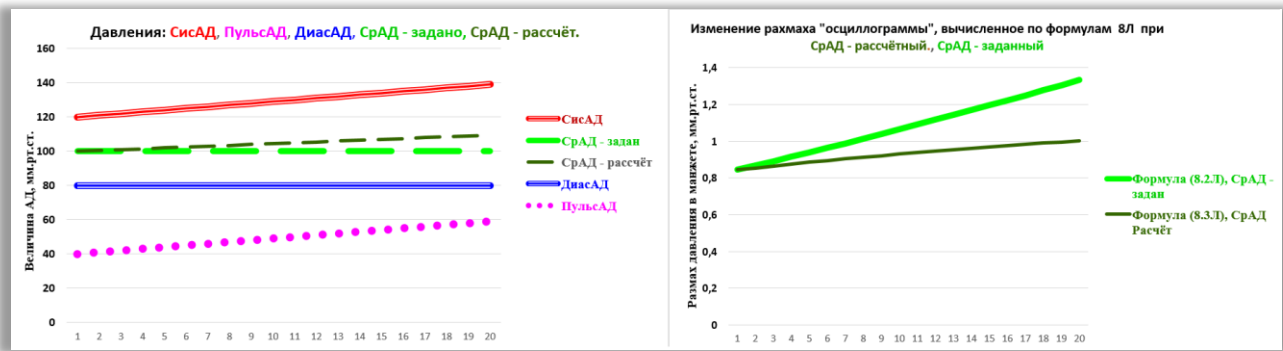


Но, по сути, на правой картинке происходит уменьшение амплитуды размаха давления в манжете не потому, что растёт расчётное Среднее Артериальное Давление, а потому, что в формуле происходит увеличение Диастолического Артериального Давления, а не Среднего; амплитуда размаха напрямую зависит от Диастолического давления, а не от Среднего.

Вариант 3. Начинаем "играться" с пульсовым давлением. Левая картинка: Диастолическое Артериальное Давление на этот раз постоянное. **Увеличиваем Пульсовое Давления. Расчетное Среднее Артериальное Давление увеличивается.** Задаваемое Среднее Артериальное Давление не чувствительно к изменениям Пульсового Давления, оставляем его постоянным.

Правая картинка: **В любом случае – с увеличением Среднего Артериального Давления происходит увеличение размаха "осциллограммы"**. Причем в том случае, когда Среднее Артериальное Давление постоянно, размах давления в манжете увеличивается сильнее.

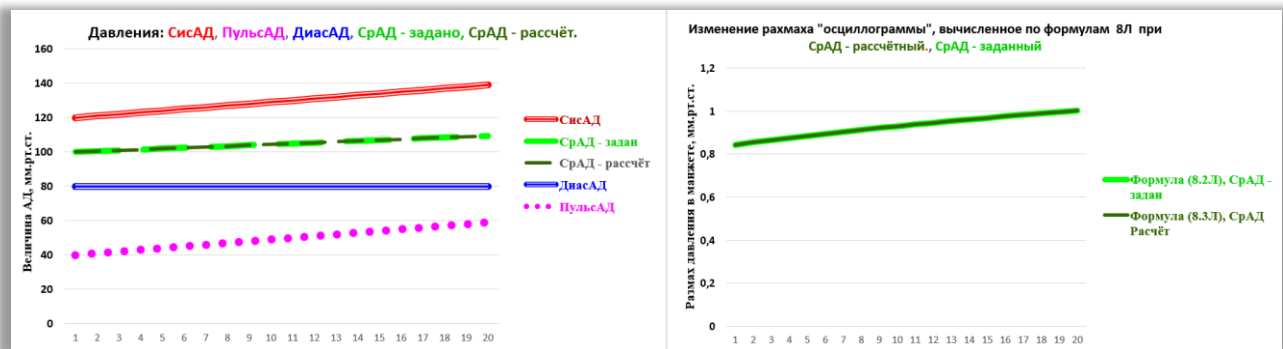
Рисунок 11.



Вариант 4. Левая картинка. Тоже самое, что и предшествующий случай, только дополнительно вручную задаем увеличение Среднего Артериального Давления.

Правая картинка: Ожидаемо **размах "осциллограммы"** при повышении расчётного и задаваемого Среднего Артериального Давления также увеличивается, совпадая друг с другом.

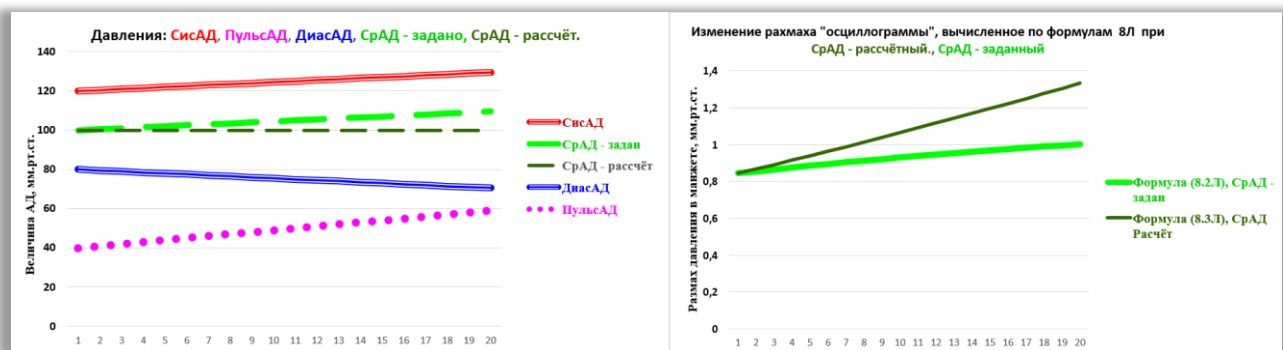
Рисунок 12.



Вариант 5. Ну и последний вариант. Левая картинка. Уменьшаем Диастолическое Артериальное Давление. Пульсовое Давление увеличивается. Систолическое Артериальное Давление также увеличивается за счет увеличения Пульсового Давления. **Расчётное Среднее Артериальное Давление – без изменений, ровно**, поскольку Систола и Диастола изменяются на одинаковую величину, но противоположную по знаку. Для контраста **Задаваемое Среднее Артериальное Давление увеличиваем вручную**.

Правая картинка: **В обоих случаях происходит увеличение размаха "осциллограммы"**. Причем для случая, когда расчетное Среднее Артериальное Давление остается постоянным, увеличение размаха "осциллограммы" происходит круче.

Рисунок 13.



Часть 2.5. Ради интереса: формула (8) модели Леткова и формула (9) модели Бэббса.

У Бэббса тоже есть формула, с помощью которой можно рассчитывать размах давления в манжете в зависимости от артериального давления. Это формула (9).

От формулы (8) в модели Леткова формула Бэббса отличается тем, что выведена только для того случая, когда давление в манжете накачено до давления ниже Диастолического Артериального Давления. То есть эта формула более специфична для типичной ситуации полиграфного тестирования.

Помимо этого, в формуле (9) Бэббса артериальное давление сразу представлено через значение Диастолического Артериального Давления и Пульсового Давления, что исключает из неё взаимозависимые переменные.

Путём несложных преобразований формулы (9) Бэббса её несложно привести к виду формулы (8.3Л) модели Леткова.

Еще раз – формула (8.3Л) модели Леткова.

Рисунок 14.

$$\Delta p_r = \frac{a}{b} * \frac{Va0 * (Pm0 + 760)}{Vm0} * [e^{b * 0,5 ПД} - e^{-b * 0,5 ПД}] / e^{b(ДАД + 0,5 ПД - Pm0)} \quad (8.3Л)$$

И преобразованная формула (9Б) модели Бэббса.

Рисунок 15.

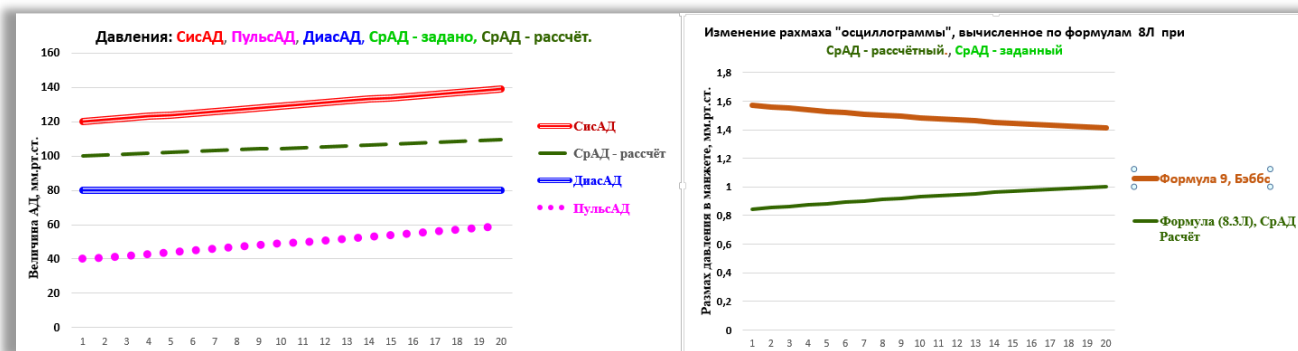
$$\Delta p_r = \frac{a}{b} * \frac{Va0 * (Pm0 + 760)}{Vm0} * [e^{b * 0,5 ПД} + e^{-b * 0,5 ПД}] / e^{b(ДАД + 0,5 ПД - Pm0)} \quad (9Б)$$

Считают они одно и то же, но несколько по разному.

Полагаю, было бы полезным взглянуть, как в сравнении работает формула (9) Бэббса и формула (8) Леткова.

Вариант 6.

Рисунок 16.



Из графиков видно, что :

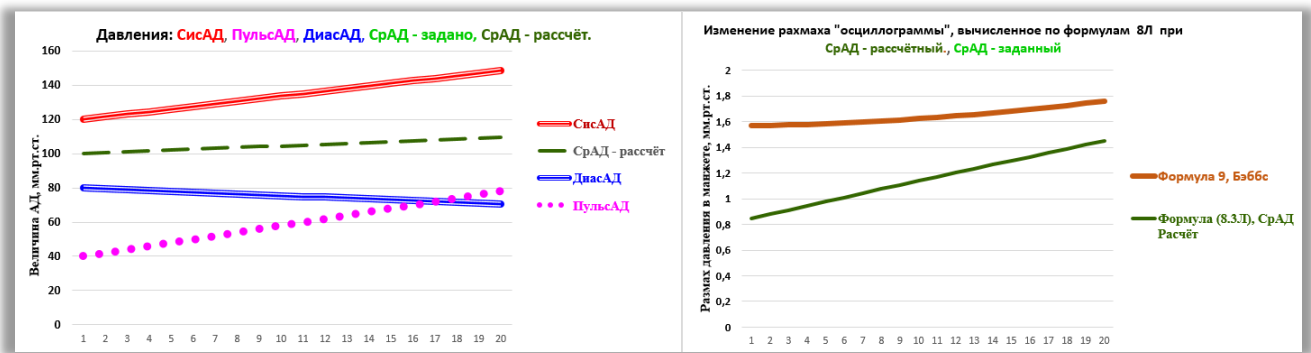
1) Модель Бэббса даёт большие значения размаха давления в манжете по сравнению со значениями модели Леткова.

2) если Диастолическое Артериальное Давление постоянно, а Среднее Артериальное Давление увеличивается за счёт увеличивающегося Пульсового Давления, то размах давления в манжете, согласно модели Леткова, растёт, а согласно модели Бэббса – уменьшается. При этом

Вариант 7.

Но если Диастолическое Артериальное Давление хоть чуть-чуть пустить на уменьшение, то **при увеличении Среднего Артериального Давления обе модели прогнозируют увеличение размаха давления в манжете.**

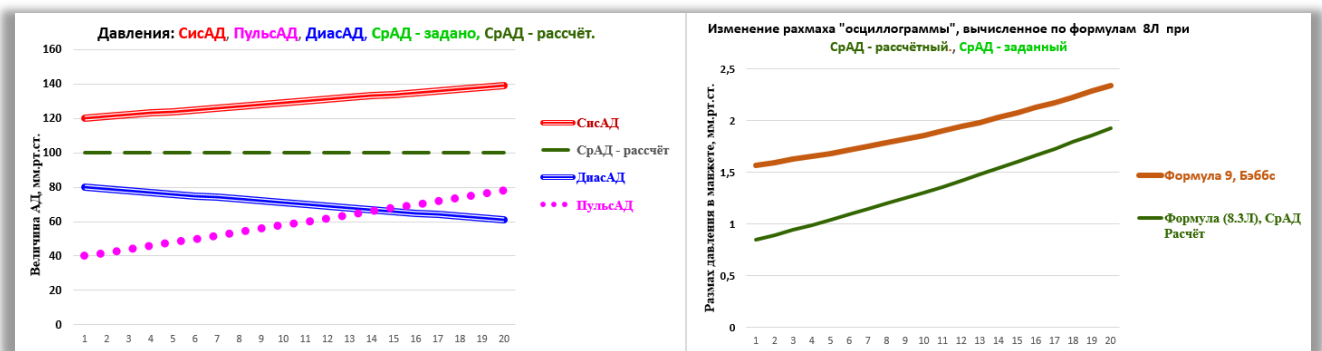
Рисунок 17.



Вариант 8.

Также для обеих моделей при уменьшении Диастолического Артериального Давления размах давления в манжете будет расти при неизменном, нулевом росте Среднего Артериального Давления.

Рисунок 18.



То есть модель Бэббса тоже предсказывает варианты, когда при увеличении Среднего Артериального Давления размах давления манжеты не уменьшается, а увеличивается.

Часть 2.5. Выводы по части 2.

Главное, думаю, показано наглядно:

Графический анализ формулы (8) показывает, что согласно модели Леткова при увеличении Среднего Артериального Давления размаха давления в манжете может как уменьшаться, так и увеличиваться.

Возможность увеличения размаха давления в манжете также подтверждается моделью Бэббса, согласно формула (9) которой при увеличении Среднего Артериального Давления размаха давления в манжете может как уменьшаться, так и увеличиваться.

Особую роль в том, увеличивается или уменьшается размах давления в манжете в зависимости от увеличения Среднего Артериального Давления, играет характер изменений Пульсового Давления.

С уважением
Сергей Поповичев

При использовании материала просьба ссылаться на авторство.