

# ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА

Суконкин Сергей  
Инженер

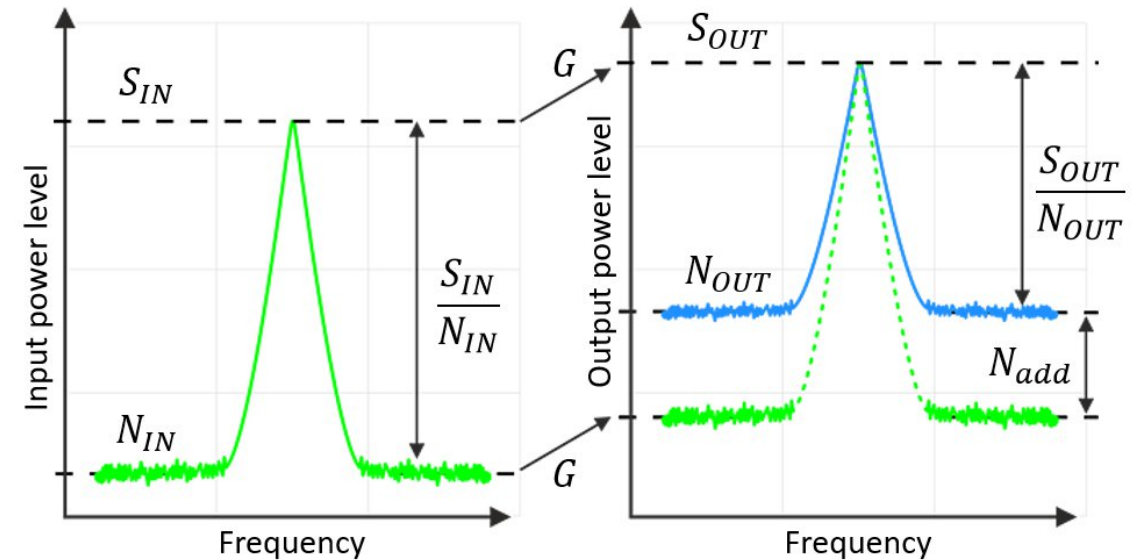


# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА

Фундаментальное определение коэффициента шума появилось в 1940 году, когда Гарольд Фриис (Harold Friis) определил коэффициент шума  $F$  цепи как отношение относительной мощности сигнал/шум на входе цепи к относительной мощности сигнал/шум на выходе цепи.

$$F = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} \quad (1)$$

$$F = \frac{N_a + kT_0BG}{kT_0BG} \quad (2)$$

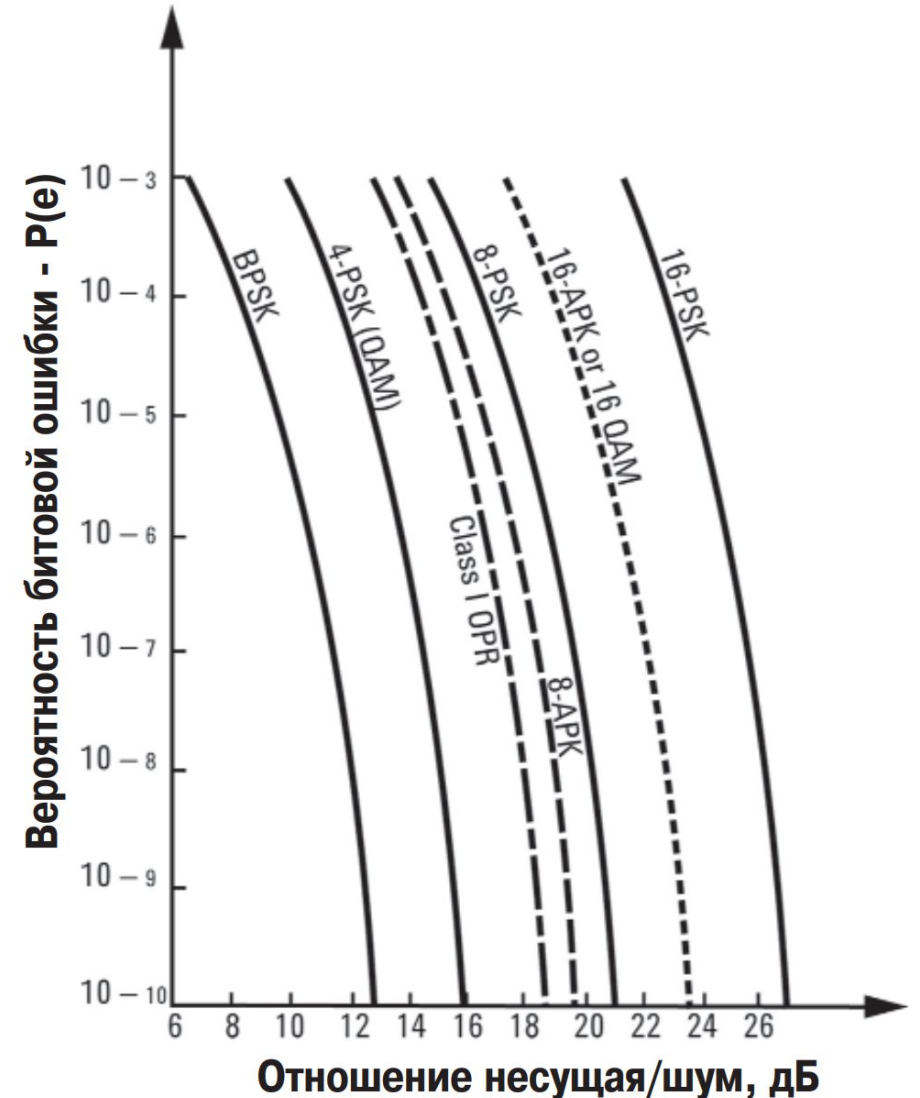


# ВЛИЯНИЕ КШ НА КАЧЕСТВО КАНАЛА СВЯЗИ

Для цифровых систем связи в качестве количественной меры надёжности используется коэффициент битовых ошибок (BER) или вероятность появления битовой ошибки  $P(e)$ .

Коэффициент битовых ошибок нелинейно связан с коэффициентом шума.

Коэффициент шума характеризует работоспособность системы, тогда как BER показывает является ли система действующей или неработоспособной.



# СОСТАВЛЯЮЩИЕ ШУМА

**Тепловой шум** (шум Джонсона — Найквиста) - равновесный шум, обусловленный тепловым движением носителей заряда в проводнике, в результате чего на концах проводника возникает флуктуирующая разность потенциалов.

Тепловой шум возникает в любом проводнике электрического тока, обладающем активным сопротивлением, и связан с хаотичным движением подвижных носителей заряда.

**Дробовой шум** - беспорядочные флуктуации числа частиц относительно их среднего значения связанные с их дискретностью. Дробовой шум, обусловленный дискретной и хаотической природой электрического тока.

В отличие от теплового шума, вызванного тепловым движением электронов, дробовой шум не зависит от температуры.

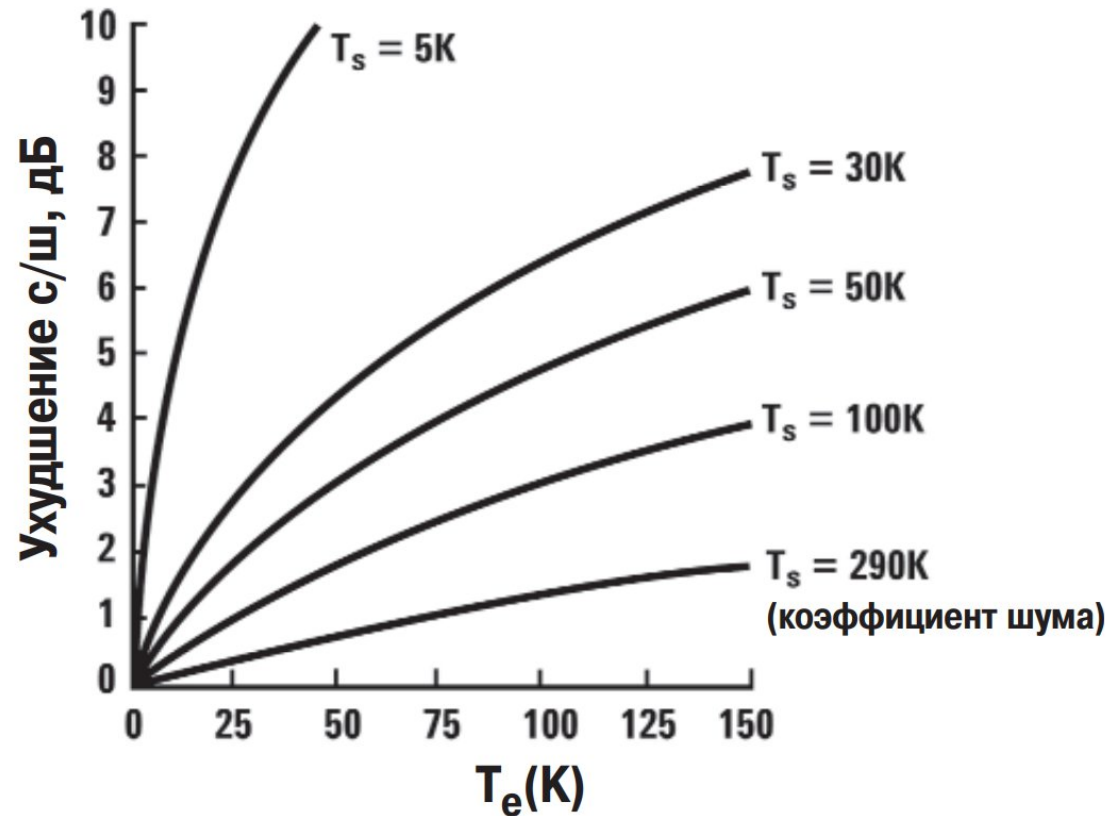
# ШУМОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Иногда для описания шумовых характеристик устройства вместо коэффициента шума (NF) используется “**эффективная температура входного шума**” -  $T_e$ . Единицы температуры используются для устройств, применяемых в спутниковых приёмниках.

$T_e$  эквивалентна температуре импеданса источника в идеальном (безшумовом) устройстве, который создавал бы такой же добавочный шум,  $N_a$ .

Величина  $T_e$  часто определяется формулой:

$$T_e = \frac{N_a}{kGB} \quad (1) \quad T_e = T_0 (F-1) \quad (2)$$

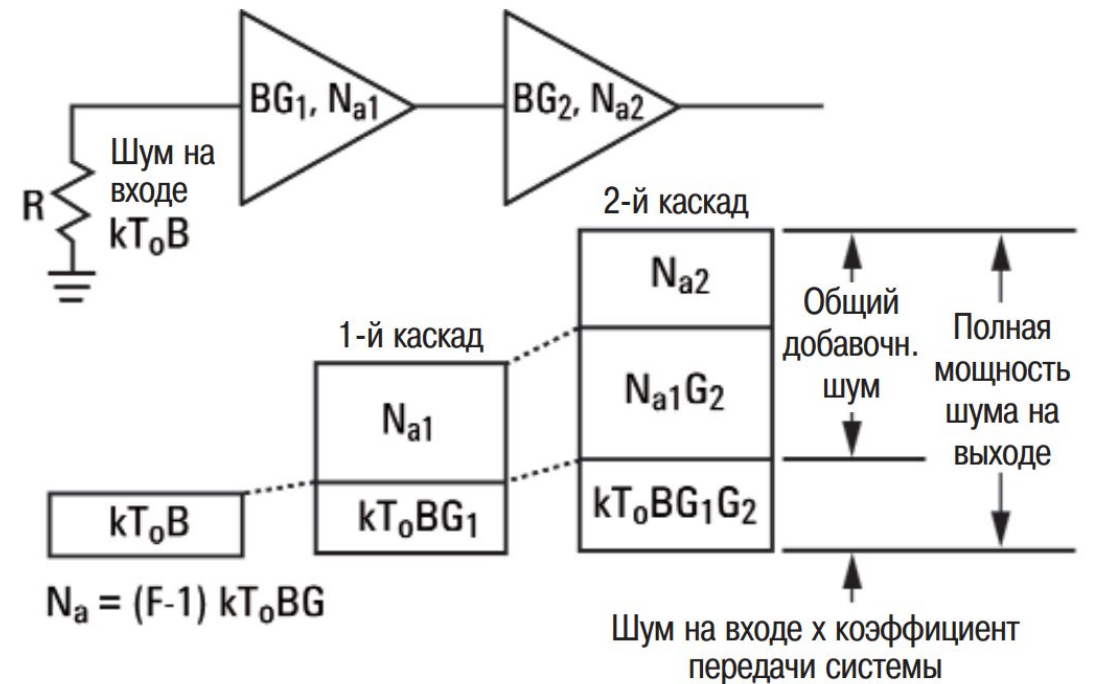


# КОЭФФИЦИЕНТ ШУМА МНОГОКАСКАДНЫХ СИСТЕМ

Общий коэффициент шума системы может быть вычислен, если известны индивидуальные коэффициенты шума и коэффициенты передачи компонентов системы.

Чтобы найти коэффициент шума каждого компонента, должен быть найден внутренний шум  $N_a$ , добавляемый каждым каскадом. Коэффициент передачи тоже должен быть известен.

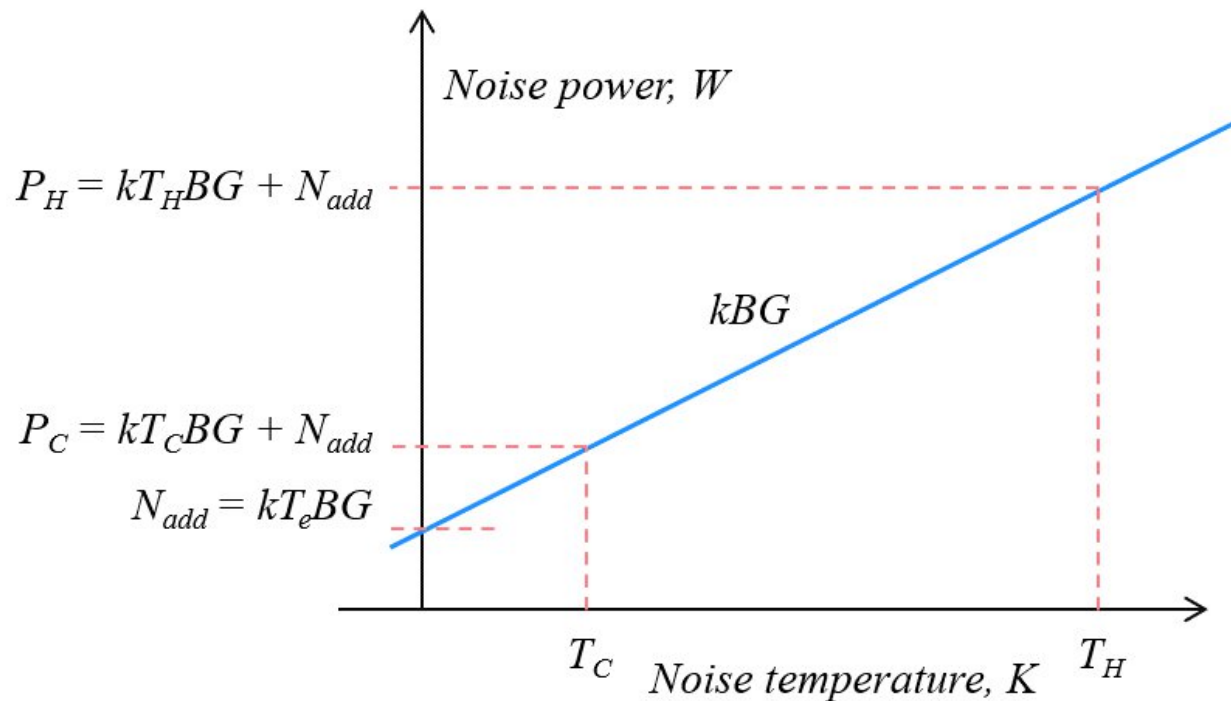
$$F_{sys} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}}$$



# МЕТОД Y-ФАКТОРА

Метод Y фактора является основой большинства измерений коэффициента шума, выполняемых внутренними средствами анализатора коэффициента шума как в ручном, так и автоматическом режимах.

Используя источник шума, этот метод позволяет определять внутренний шум в ИУ и, следовательно, коэффициент шума или эффективную температуру входного шума.



# ТРЕБОВАНИЯ К ШУМУ ПРИЕМНИКА СИГНАЛА

Стандартный приемник выполнен по супергетеродинной схеме без преселектора. Его входная цепь – это группа выделения сигналов, представляющая собой пассивное устройство с потерями, приблизительно равными 15...20 дБ.

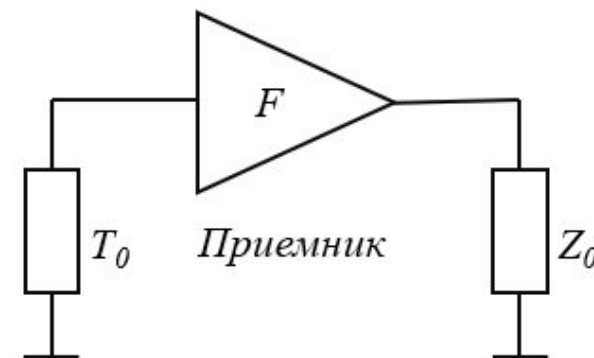
Распределение усиления в тракте приемника выбрано так, чтобы обеспечить прием сигналов в широком динамическом диапазоне, значительно превышающем **100 дБ**. Уровень собственного шума составляет **порядка -135...140 дБм/Гц** в зависимости от модели анализатора.

Если говорить в терминах КШ, то получается, что **КШ стандартного приемника близок к 40 дБ**.

Вычисляем шум для полосы 1МГц:

$$N_{IN} = kT_0BF \approx -74 \text{ дБм}$$

$$B=1 \text{ МГц}, F=40 \text{ дБ}$$
$$N_{IN} = kT_0BF \approx -74 \text{ дБм}$$





# ОСОБЕННОСТИ АППАРАТНЫХ РЕАЛИЗАЦИЙ

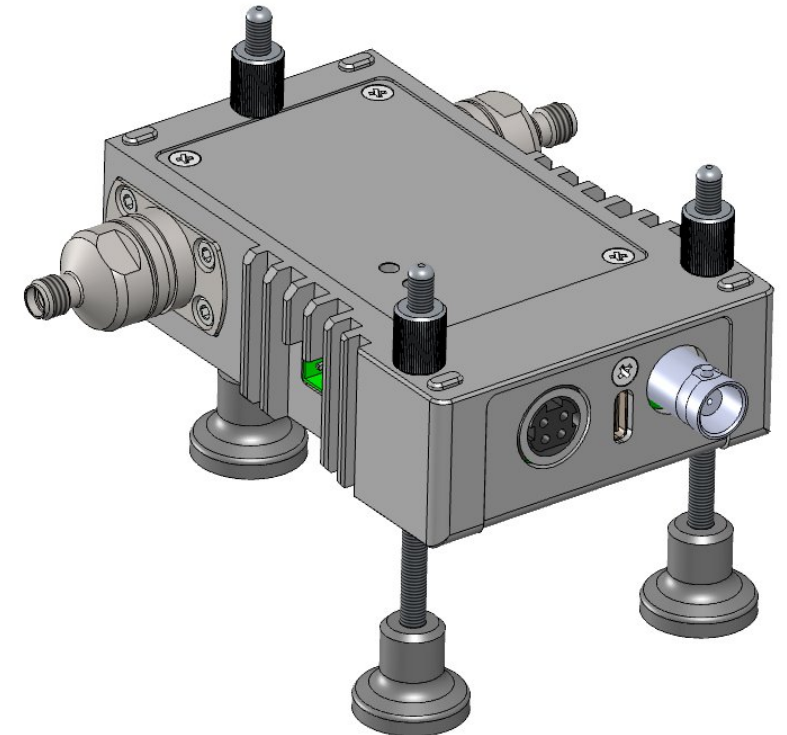
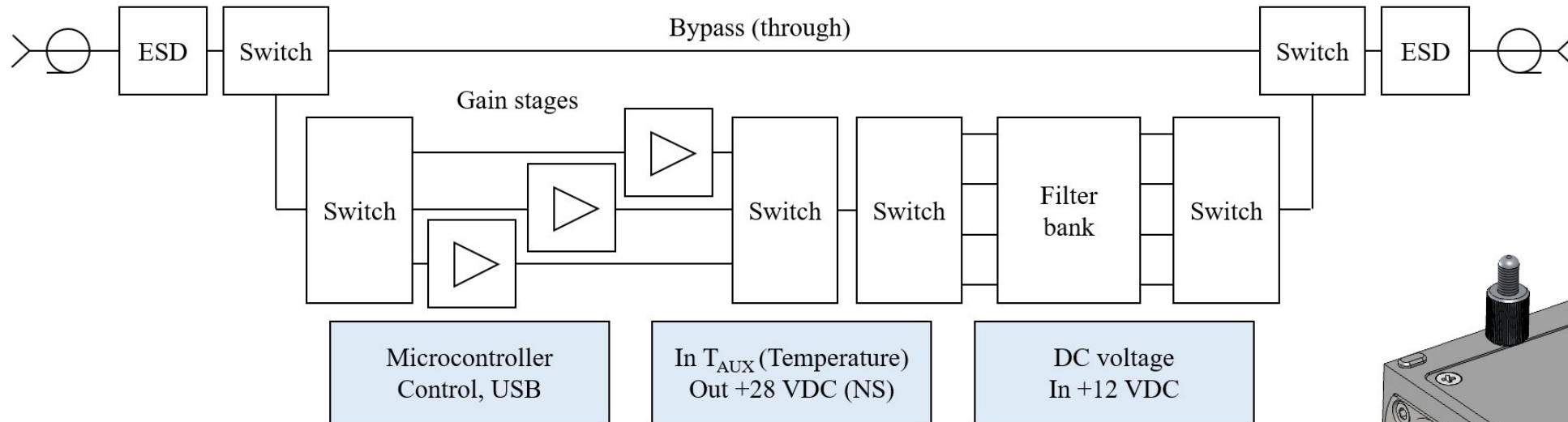
## Один прибор:

- + Не требует дополнительных операций по подключению
- + Удобство использования
- + Проще обслуживать и эксплуатировать
  
- Большая стоимость при покупке
- Апгрейд требует разборку прибора

## Модульная система:

- + Возможность апгрейда пользователем
- + Создание дополнительных узкоспециализированных систем
- + Возможность апгрейда уже выпущенных приборов
  
- Сложность эксплуатации
- Точность результатов может зависеть от действий пользователя

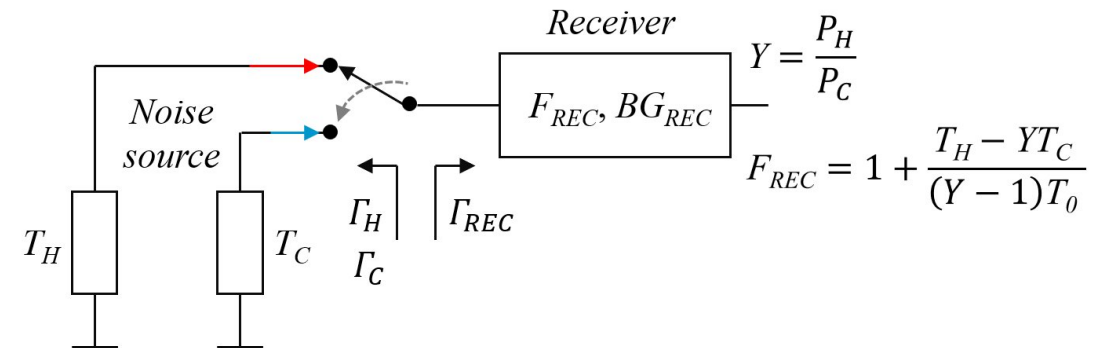
# ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МШУ



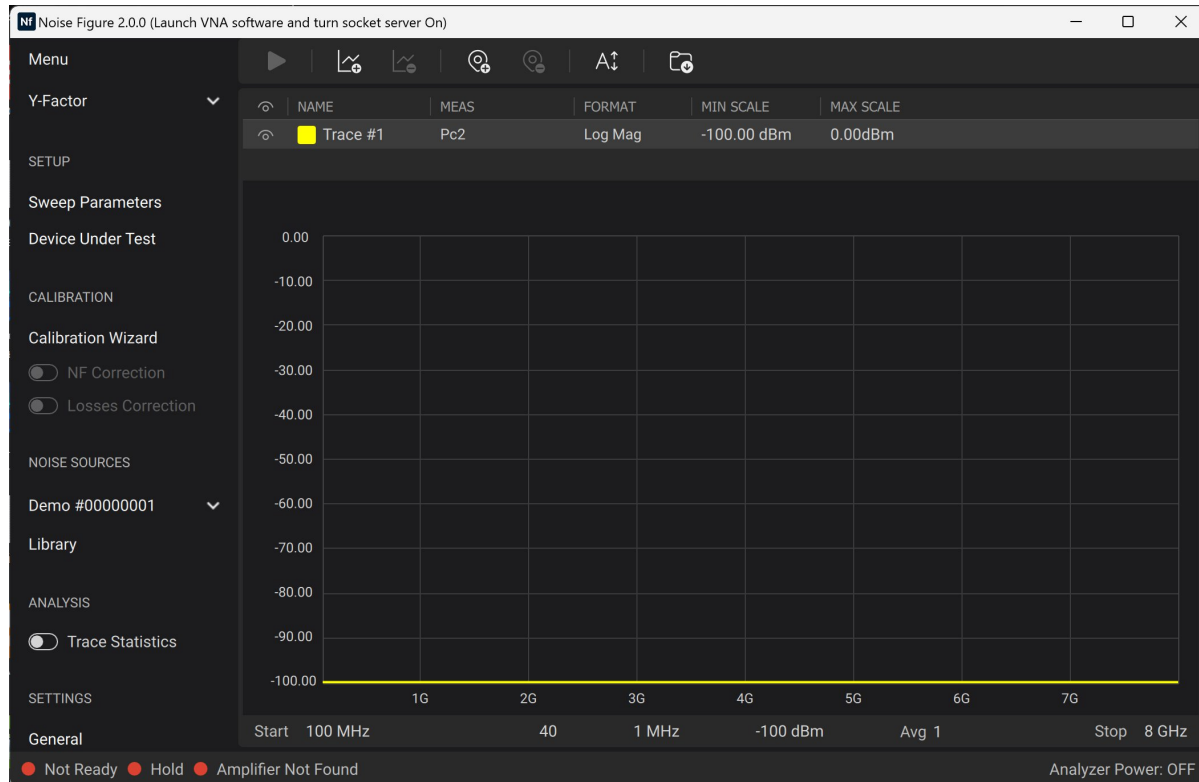
# КАЛИБРОВКА ПРИЕМНИКА

$$P_H = kB \cdot \{[F-1] \cdot T_0 + T_H\} \cdot G_{REC} \cdot \frac{1-|\Gamma_H|^2}{|1-\Gamma_{REC}\Gamma_H|^2}$$

$$P_C = kB \cdot \{[F-1] \cdot T_0 + T_C\} \cdot G_{REC} \cdot \frac{1-|\Gamma_C|^2}{|1-\Gamma_{REC}\Gamma_C|^2}$$



# ИНТЕРЕС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КШ



The screenshot shows the 'Noise Figure' software wizard in the 'Y-factor' setup screen. The interface is divided into two main sections: 'START' and 'SETUP'. The 'START' section includes a 'Select noise source' dropdown menu set to '346B #MY53400222' and an 'Enter ambient temperature' input field set to '290.00 K'. There is a checkbox for 'Use Thru Connections' which is currently unchecked. The 'SETUP' section features a 'Noise Figure Measurement Setup' diagram showing the connection between an 'Analyzer' and a 'Noise Receiver Port'. Below the diagram is a block diagram of the measurement setup: 'Source' -> 'Input Thru' -> 'DUT' -> 'Output Thru' -> 'Amp'. A 'DC Control' line is shown connecting the 'Source' and 'Amp'. A temperature sensor icon is also present. The bottom of the screen has a '\*Wizard Preset' button and a 'Next >' button. A note at the bottom explains that the wizard may require S-parameter measurement of thru connections and that noise figure and effective temperature are related through the standard temperature of 290 K.

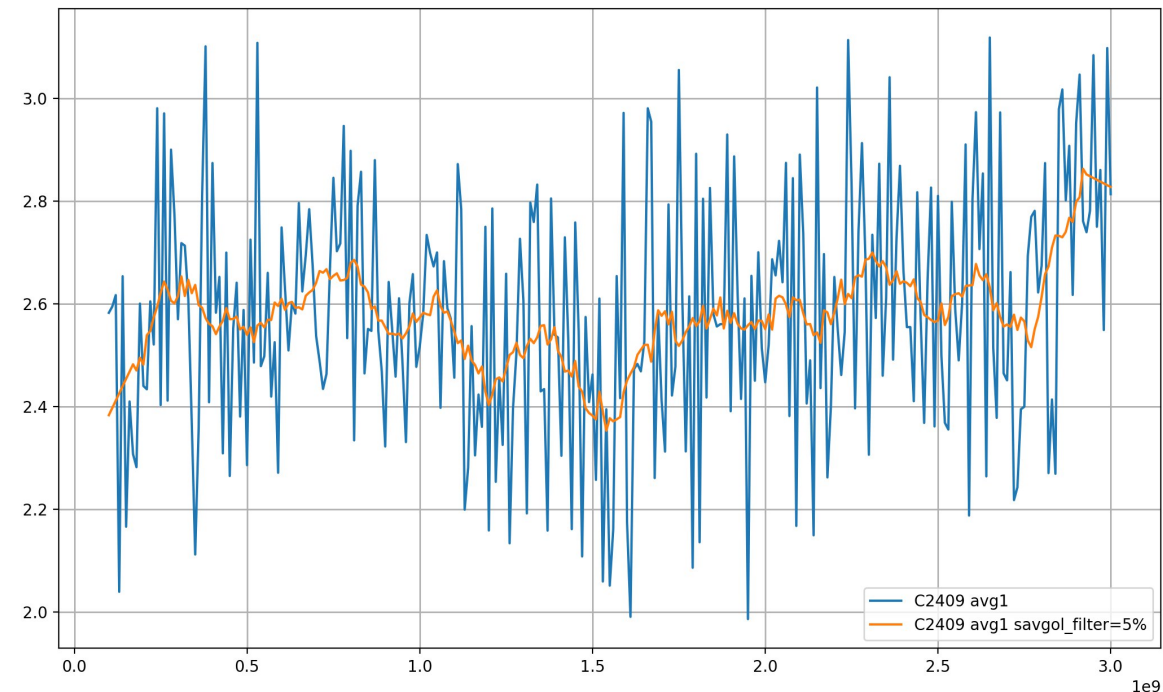
# ФЛУКТУАЦИЯ

Шум может быть представлен как **последовательность случайных событий - электрических импульсов**.

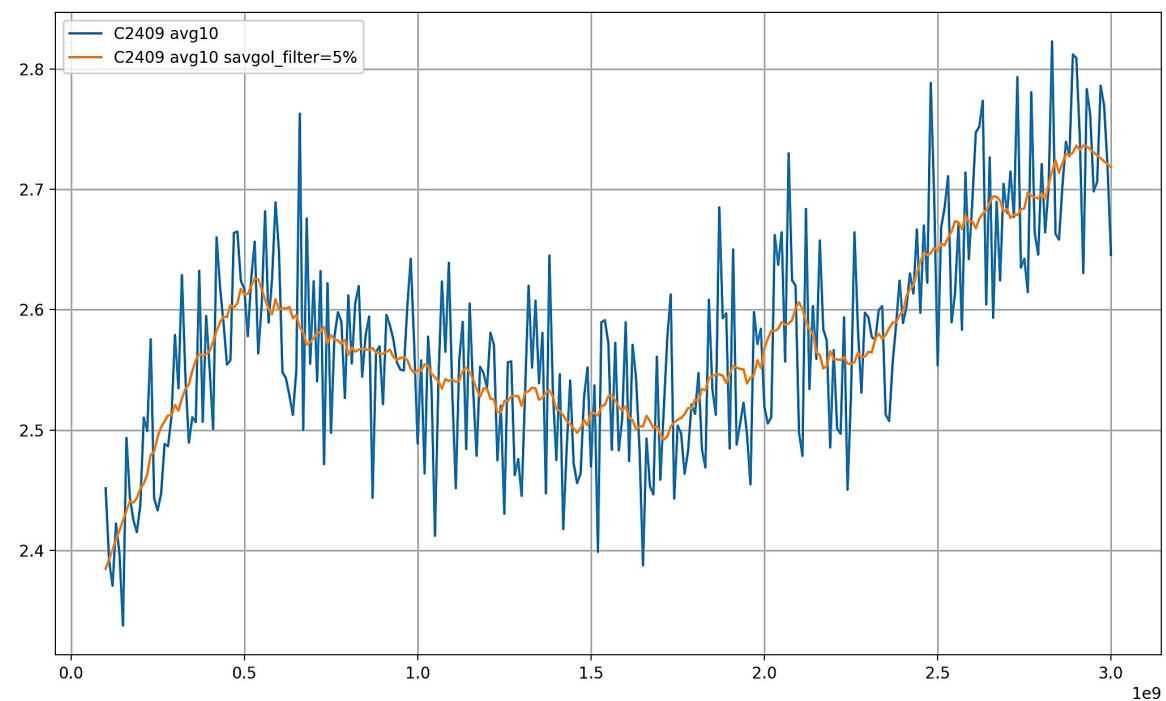
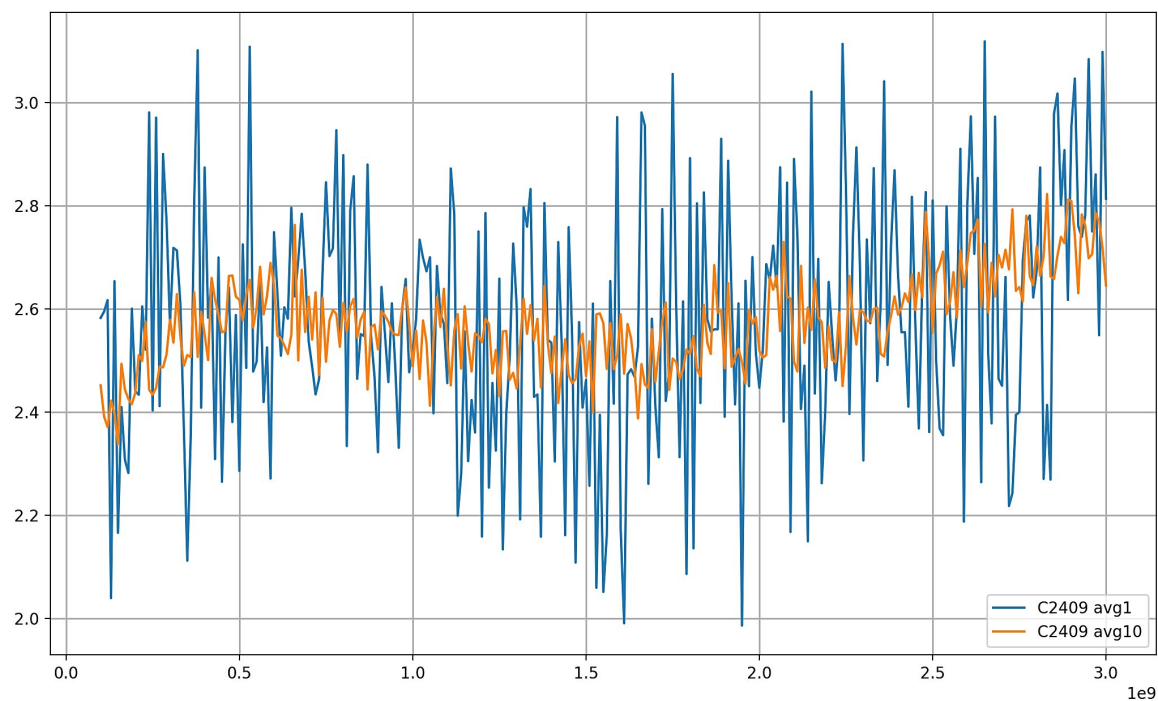
Цель любого измерения шума состоит в нахождении его среднего значения на выходе устройства.

Теоретически для нахождения **истинного среднего значения шума** требуется бесконечно большое время.

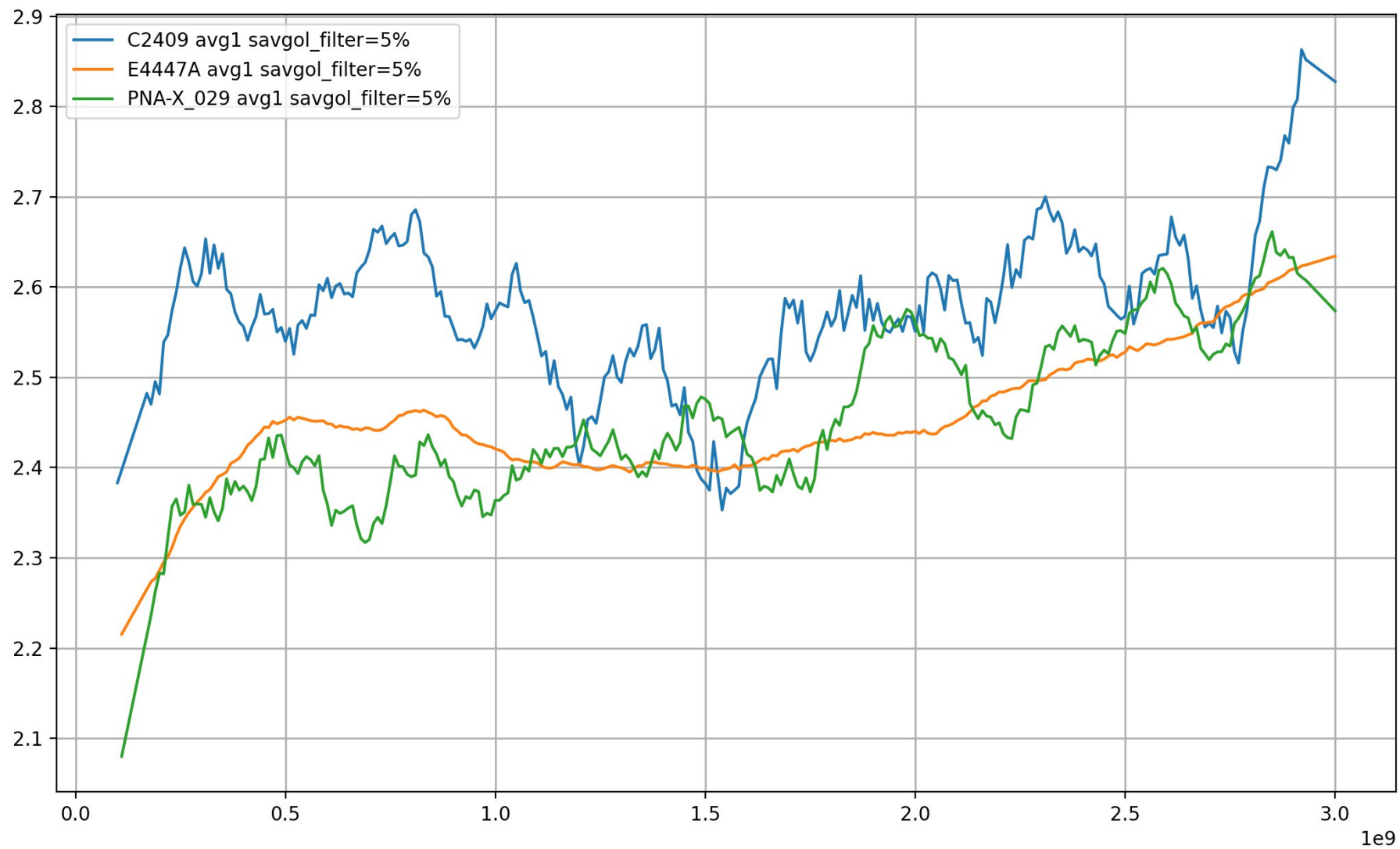
Практически **усреднение шума** выполняется за ограниченный интервал времени. Разность между измеренным и истинным средними значениями флюктуирует, что приводит к ухудшению повторяемости.



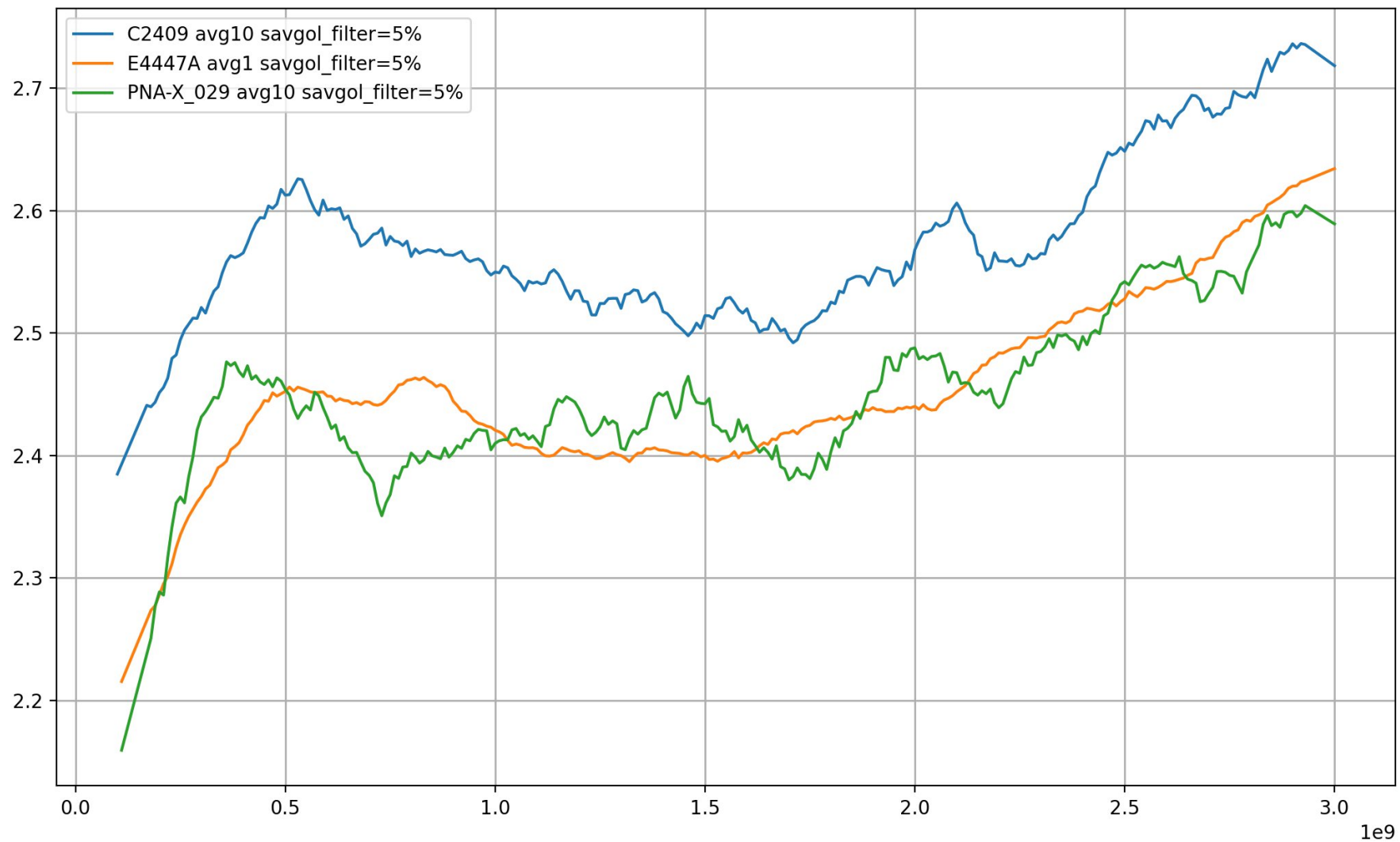
# УСРЕДНЕНИЕ И СГЛАЖИВАНИЕ



# СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ



# СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ





**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ**

ОСТАЛИСЬ ВОПРОСЫ?

