**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и оценки соответствия в строительстве»**

Методическое пособие

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ (ЛИСТОВОЙ И ФАСОННЫЙ ПРОКАТ, ТРУБЫ, СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ И ДР.) С НОРМАТИВНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ

Москва 2017

gost.e-ecolog.ru

Содержание

Введение ... 3
1. Область применения ... 6
2. Нормативные ссылки ... 8
3. Основные понятия, термины и определения ... 9
4. Требования к материалам и изделиям для металлических конструкций зданий и сооружений, особенности производства конструкционных материалов ... 11
4.1 Обоснование правил контроля свойств стального проката, сварных труб и гнутых профилей ... 12
5. Требования к выборке и статистическим параметрам ... 14
5.1 Анализ воспроизводимости ... 16
5.2 Анализ пригодности ... 17
5.3 Выводы по результатам анализа воспроизводимости и пригодности ... 18
6. Оценка соответствия механических свойств партий проката и изделий требованиям стандарта гост 27751-2014 «надежность строительных конструкций и оснований» в условиях крупносерийного и позаказного производства ... 19
6.1 Оценка соответствия механических свойств партий проката и изделий требованиям стандарта гост 27751-2014 «надежность строительных конструкций и оснований» в условиях крупносерийного производства ... 20
6.2 Оценка соответствия механических свойств партий проката и изделий требованиям стандарта гост 27751-2014 «надежность строительных конструкций и оснований» в условиях позаказного производства трубной продукции ... 25
Приложение А. Обоснование методики контроля и оценки механических свойств проката ... 30
Приложение Б. О статистической оценке обеспеченности нормативных сопротивлений в строительных сталях ... 38
Литература ... 107

Введение

Пособие разработано в развитие положений ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» и СП 16.13330.2017, СНИП II-23-81* определяющих статистическую обеспеченность механических характеристик строительных материалов нормативным требованиям. Для решения задач о надежности строительных конструкций необходима информация о распределениях расчетных характеристик материалов, из которых изготавливаются конструкции, нагрузках и воздействиях. Распределения прочностных и пластических свойств металла в материалах и конструкциях, в том числе конструкциях из труб, зависят от технологических факторов и процедур контроля свойств на металлургическом производстве.

ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» содержит п. 7.2: «Для материалов, прошедших приемочный контроль или сортировку, обеспеченность нормативных значений их прочностных характеристик должна быть не ниже 0,95». Это определяющее требование должно учитываться при разработке стандартов на материалы, используемые в строительных металлоконструкциях.

В настоящее время в силу специфики требований к продукции разного назначения (например, трубы) в нормативных документах (стандартах) используются различные подходы при реализации контроля прочностных свойств: разные определения партии металлопроката, контроль по нижнему пределу механических характеристик или по нижнему и верхнему и др.

Отметим, например, специфику нормативных документов на сварные трубы для магистральных газо- и нефтепроводов. Эти трубы могут использоваться и в строительных металлоконструкциях. Однако общим посылом организации приемки трубной продукции является формирование выборочного контроля:

- трубы поставляют партиями (партия – один размер труб, одна сталь, одна технология изготовления и обработки);
- в партии трубы могут быть из металла нескольких плавок (допустимо);

- для контрольных испытаний от партии отбираются две случайные трубы (могут быть из разных плавок);
- от каждой из этих труб отбирается одна кольцевая проба;
- из кольцевой пробы изготавливается образец для испытаний на растяжение основного металла);

Далее рассматривается методика приемочного контроля, в том числе основного металла труб, с соблюдением требований п. 6.2 ГОСТ 27751-2014.

Контроль качества при производстве строительных материалов осуществляется по характеристикам прочности (временному сопротивлению, пределу текучести, относительному удлинению и т.д.) осуществляется разрушающим методом путем вырезки необходимых образцов металла и их испытанию. Контроль, с использованием статистической выборки небольшого количества образцов, по результатам испытания которых принимается решение о соответствии качества требованиям, является общепринятым подходом. Статистическим условием выборочного контроля является состояние статистической управляемости технологической системы производства продукции (ТСП) контролируемой продукции. Характеризуется оно статистическими характеристиками генеральной совокупности продукции включающими распределение характеристик качества внутри партии (среднее, среднеквадратичное отклонение), стабильность статистических характеристик в серии партий, величиной опорного интервала, соотношением опорного интервала и норм значений для каждого показателя.

Выборочный приемочный контроль включает два этапа:

- Статистический анализ генеральной совокупности (далее – ГС) показателей качества продукции на основе выборки или других методов с установлением статистических характеристик по каждому показателю качества внутри партии, затем в совокупности партий, также установление для каждой характеристики качества параметров опорного интервала, индексов воспроизводимости и т.д.

Проведение анализа, состояния статистической управляемости, распределения статистических характеристик внутри партии и в среднем при производстве.

– На основании статистических характеристик параметров качества генеральной совокупности производится выборочный приемочный контроль качества (далее ВПК) производимых партий продукции и одновременно мониторинг показателей производства. При этом в процессе ВПК и мониторинга показателей ТСП возможно периодически уточнение статистических характеристик генеральной совокупности.

Объективность исследований генеральной совокупности показателей качества продукции, с учетом состояния технологической системы ее производства решением потребителя (заказчика) обеспечивается независимым органом инспекции.

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Механические характеристики металла являются основными для принятия конструктивных решений и прямо обеспечивают несущую способность и надежность строительных конструкций в процессе их строительства и эксплуатации. Этими характеристиками являются временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение. Для отдельных видов продукции могут быть обоснованно установлены и другие характеристики, определяющие их надежность, равномерное удлинение, ударная вязкость и др.

Обязательным является подтверждение обеспеченности нормативных значений прочностных характеристик материалов, в процессе выборочного приемочного контроля, которая должна составлять не менее 0,95, особенно применяемых на опасных и высоко категорийных объектах.

Требование обеспеченности нормативного уровня показателя прочности распространяется на строительные нормы и правила:

- СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*;
- СП 33.13330.2012 Расчет на прочность стальных трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 2.04.12-86;
- СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*;
- СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*;
- СП 86.13330.2014 Магистральные трубопроводы (пересмотр актуализированного СНиП III-42-80* Магистральные трубопроводы (СП 86.13330.2012));
- другие

Условием применения выборочного контроля продукции при приемке строительных материалов является обязательное требование к технологической системе производства продукции (ТСП) в части воспроизводимости или пригодности (ГОСТ Р 50779.46-2012/ISO/TR 22514-

4:2007), а также стабильности и статистической управляемости (ГОСТ Р ИСО 22514-2-2015).

Стандарт распространяется на процедуры выборочного контроля качества строительных материалов:

- контроль потребителя (входной контроль, инспекционный контроль, приемка продукции представителем потребителя);
- контроль третьей стороны (сертификация продукции, инспекция и надзор за соблюдением требований стандартов, контроль качества продукции, выполняемый при судебном и арбитражном рассмотрении дел, а также по заказу поставщика или потребителя).

Требования настоящего стандарта также подлежат применению при составлении договоров (контракту) на поставку.

Таким образом, предлагается методика контроля соответствия свойств металлопродукции в строительных конструкциях, сооружениях и объектах требованиям норм. Методика используется в процессе жизненного цикла строительных материалов:

- при приемочном контроле механических свойств на металлургических предприятиях;
- для обеспечения заданного стандартом уровня свойств с требуемой вероятностью не ниже регламентируемой ГОСТ 27751-14 при производстве и строительстве;
- для разрабатываемых вероятностных методов расчета конструкций при проектировании.

2. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В методике использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ Р 50779.30-95 Статистические методы. Приемочный контроль качества. Общие требования

ГОСТ Р 50779.46-2012/ISO/TR 22514-4:2007 Статистические методы. Управление процессами. Часть 4. Оценка показателей воспроизводимости и пригодности процесса

ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81) Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 15895-77 (СТ СЭВ 547-84) Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения

ГОСТ 20736-75 (СТ СЭВ 1672-79) Статистический приемочный контроль по количественному признаку. Планы контроля

ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике (ССНТ). Системы технологические. Термины и определения

3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем стандарте применены термины с соответствующими определениями.

Выборка: объем выборочных единиц, взятых из генеральной совокупности и предназначенных для получения информации о ней.

Примечание – Выборка может служить основой для принятия решений о генеральной совокупности или процессе, который ее формирует.

Генеральная совокупность: множество всех рассматриваемых единиц продукции одной марки группы.

Единица продукции: то, что может быть рассмотрено и описано индивидуально.

Единицей может быть, например:

- изделие;

- определенное количество материала.

Изготовитель: сторона, ответственная за изготовление продукции и способная обеспечить качество этой продукции настолько, насколько это соответствует всем требованиям договора или (и) стандарта (стандартов), или (и) представленной информации о продукции.

Контроль поставщика: контроль продукции, проводимый поставщиком или изготовителем для подтверждения достоверности документировано представленной им информации о качестве продукции.

Контроль потребителя: контроль продукции, проводимый потребителем для проверки правильности информации о качестве продукции и результатов контроля поставщика.

Контроль третьей стороны: контроль продукции, проводимый третьей стороной для подтверждения или проверки правильности информации поставщика о качестве продукции и (или) результатов ее контроля.

Корректирующее действие: действие, предпринятое для устранения причины несоответствия и предупреждения его повторного возникновения.

Объем выборки: число выборочных единиц в выборке.

Производственная партия: определенное количество некоторой товарной продукции или услуг, произведенное в одно время и при условиях, которые можно считать однородными.

Поставщик: сторона, несущая ответственность за изделия, процесс или услугу и способная гарантировать обеспечение их качества.

Потребитель: сторона (предприятие, организация или частное лицо), приобретающая продукцию в пользование или собственность.

Предупреждающее действие: действие, предпринятое для устранения причины потенциального несоответствия или другой потенциально нежелательной ситуации.

Технологическая система производства продукции: совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оборудования и оснащения, испытательного и измерительного оборудования, предметов производства, технологических регламентов, исполнителей технологических процессов и операций, необходимых для производства данной продукции.

Третья сторона: организация, независимая от сторон, участвующих в торговых операциях или связанных контрактом, соглашением, договором в отношении той или иной продукции.

Трубная продукция: продукция, включающая трубы и соединительные детали.

В стандарте приняты следующие сокращения:

ВПГ – верхняя приемочная граница;

ВПК – выборочного приемочного контроля качества;

ГОСТ – государственный стандарт;

НПГ – нижняя приемочная граница;

ОИ – опорный интервал;

ОПО – опасный производственный объект;

СНиП – строительные нормы и правила;

СП – свод правил;

СУ – статистическая управляемость;

СЭВ – совет экономической взаимопомощи;

ТСП – технологическая система производства продукции;

ТУ – технические условия производителя;

L – нижняя граница поля допуска характеритстики качества;

U – верхняя граница поля допуска характеристики качества.

4. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ И ИЗДЕЛИЯМ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для решения задач обеспечения надежности строительных конструкций необходима информация о распределениях расчетных характеристик материалов, из которых изготавливаются конструкции, нагрузках и воздействиях. Распределения прочностных и пластических свойств металла в конструкциях, в том числе конструкциях из труб, зависят от целого ряда технологических факторов и процедур контроля свойств на металлургическом производстве.

ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» содержит п. 7.2: «Для материалов, прошедших приемочный контроль или сортировку, обеспеченность нормативных значений их прочностных характеристик должна быть не ниже 0,95». Это определяющее требование должно учитываться при разработке стандартов на производство и приемочный контроль качества материалов, используемых в строительных металлоконструкциях.

В настоящее время в силу специфики требований к стальным строительным материалам (например, трубам) в нормативных документах (стандартах) используются различные подходы при реализации контроля прочностных свойств: разные определения партии металлопроката, контроль только по нижнему пределу механических характеристик или по нижнему и верхнему и др.

Отметим специфику нормативных документов на сварные трубы для магистральных газопроводов и нефтепроводов. Эти трубы могут использоваться и в строительных металлоконструкциях. Однако общим при организации сдачи и приемки трубной продукции является выборочный контроль:

– трубы поставляют партиями (партия – один размер труб, одна сталь, одна технология изготовления и обработки);

– в партии трубы могут быть из металла нескольких плавок (допустимо);

– для приемочных испытаний от партии отбираются две случайные трубы (могут быть из разных плавок) от которых отбирается одна кольцевая проба;

– из кольцевой пробы изготавливается образец для испытаний на растяжение основного металла.

Очевидна необходимость разработки методики контроля качества металлопродукции применяемой в металлических конструкциях с учетом специфики производства металлургической промышленности.

4.1 Обоснование правил контроля свойств стального проката, сварных труб и гнутых профилей

Далее рассматривается методика приемочного контроля металлопродукции, в том числе металла труб и соединительных деталей, с соблюдением требований ГОСТ 27751-2014.

В силу ряда причин прочностные и пластические свойства стали, включая и металл труб, неоднородны и обладают изменчивостью. Следует оценить изменчивость предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения (характеристики, определяемые при испытаниях на растяжение основного металла) в одной партии. Необходимо знание изменчивости свойств контролируемых характеристик и в совокупности партий.

Совершенствование и развитие методов расчета металлических конструкций предусматривают постоянное изучение статистической однородности механических свойств сталей, используемых в конструкциях, и совершенствование методики нормирования этих свойств.

Как показывают данные механических испытаний текущей продукции металлургических заводов, эмпирические распределения в генеральной и частных совокупностях во многих случаях могут быть с достаточной степенью точности аппроксимированы нормальным законом. В этом предположении каждая частная совокупность характеризуется двумя параметрами: средним значением $\bar{x}_i$ и средним квадратическим отклонением (стандартом) σ_i. В такой постановке вероятность частной совокупности i определяется ее средним значением $\bar{x}_i$ (x_i —случайная величина). Однако

вопрос о том, насколько рассеяние значений стандарта частных совокупностей может влиять на обеспеченность нормативных, а следовательно, и расчетных сопротивлений, представляет значительный интерес. Ниже (рисунок 1) представлены графики разброса статистических характеристик трубной продукции по временному сопротивлению для разных партий и заказов.

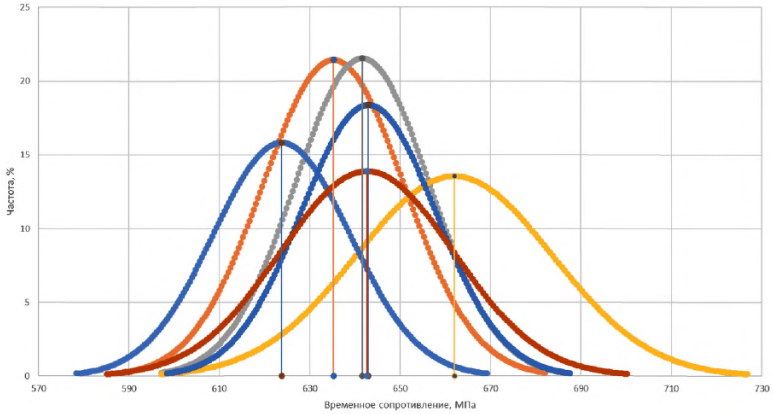


Рисунок 1 – Графики разброса статистических характеристик трубной продукции

Из графика видна значительная изменчивость средних величин а также стандартов, что говорит об отсутствии воспроизводимости ТСП и необходимости ее контроля перед применением процедуры выборочного контроля.

Таким образом, методика контроля и оценки механических свойств обсуждаемых металлических материалов зависит от технологической схемы производства и требует применения статистических методов контроля.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫБОРКЕ И СТАТИСТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Механические свойства проката строительных материалов, трубной продукции, изготовленных из одной стали в одной технологической системе производства, одного или близкого профиля и размерного ряда, одного химического состава образуют генеральную совокупность. Оценку параметров, отражающих уровень и неоднородность контролируемой характеристики в генеральной совокупности, проводят на основании результатов первичных испытаний образующих выборку.

Выборка должна быть представительной и включать все результаты первичных испытаний за достаточно длительный промежуток времени (не менее полугода), в течение которого технологический процесс не претерпевал направленных изменений (смена агрегатов, способов разливки, изменение сырья, развеса слитка, температурного режима прокатки и др.). Минимальный объем выборки для крупносерийной продукции в виде листового стандартного проката (N) 250 партий-плавок. Для получения представительных выборок возможна группировка профилей разных размеров в одну совокупность с проверкой неоднородности общей выборки с использованием критерия Стьюдента.

Выборка для трубной продукции показанного производства должна включать все результаты первичных испытаний за промежуток времени **(не менее года)**, в течение которого технологический процесс ТСП не претерпевал направленных изменений.

Выборка результатов 100% испытаний внутри партии должна составлять не менее 10 партий-плавок. Общий объем выборки из генеральной совокупности должен составлять не менее (N) 100 партий-плавок за период не менее 1 года.

Для каждой выборки из партии, для всех контролируемых параметров качества (временного сопротивления,предела текучести,относительного удлиннения и др.) расчитываются:

среднее ($\bar{Y}$): $\bar{Y} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Y_i$;

среднеквадратичное отклонение для каждой партии (σ):

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(Y_i - \bar{Y})^2}; \quad (1)$$

среднее среднеквадратичное отклонение (σ_0) для партий:

$$\sigma_0 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sigma_i \qquad \text{для} \quad N \geq 10. \tag{2}$$

Для общей выборки из генеральной совокупности в объеме не менее 100 партий плавок за период производства не менее года для контролируемых параметров качества также рассчитываются:

среднее $\bar{X}$: $\qquad \bar{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i \qquad$ для $N \geq 100$; (3)

среднеквадратичное отклонение (S):

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})^2}. \tag{4}$$

Границы опорного интервала (ОИ), представляют верхнюю и нижнюю квантили уровней 0,135% и 99,865% ($X_{0,135\%}$ и $X_{99,865\%}$), рисунок 2.

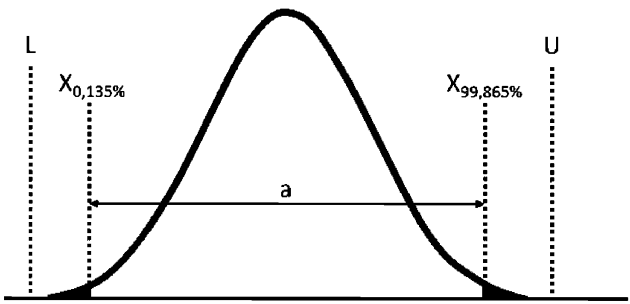


Рисунок 2 – Представление границ опорного интервала

Здесь а – опорный интервал 99,73%;

ОИ может быть как двухсторонним (при наличии двух границ), так и односторонним (при наличии одной границы – нижней или верхней). Для характеристик качества материалов (временное сопротивление и условный предел текучести) границы ОИ являются двухсторонними:

временное сопротивление $R^{н}_{вр.с.min}$ и $R^{н}_{вр.с.max}$;

условный предел текучести $R^{н}_{пр.т.min}$ и ($R^{н}_{пр.т.max} = R^{н}_{вр.с.max} * \varphi^{н}$), где

$\varphi^{н}$ – нормируемое максимальное отношение предела текучести к временному сопротивлению.

Для относительного удлинения граница ОИ односторонняя, минимальная (нижняя).

Индексы воспроизводимости технологических процессов свидетельствует о реализации производителем намерения достигать непрерывного уменьшения изменчивости до уровня статистической управляемости (далее – СУ), а не только соответствия установленным требованиям.

Индекс воспроизводимости (C_p) процесса выражают в виде разности границ установленного поля допуска, деленной на длину опорного интервала

$$C_p = \frac{U-L}{X_{99,865\%}-X_{0,135\%}}, \quad (5)$$

где:

L – нижняя граница поля допуска характеритстики качества;

U – верхняя граница поля допуска характеристики качества;

$X_{0,135\%}$ – квантиль распределения характеристики уровня 0,135%;

$X_{99,865\%}$ – квантиль распределения характеристики уровня 99,865%.

Верхний индекс воспроизводимости (C_{pkU}) процесса выражают в виде разности верхней границы поля допуска U и 50%-ной квантили распределения $X_{50\%}$, деленной на длину верхнего опорного интервала:

$$C_{pkU} = \frac{U-X_{50\%}}{X_{99,865\%}-X_{50\%}}, \quad (6)$$

где $X_{50\%}$ – квантиль распределения характеристики уровня 50%.

Нижний индекс воспроизводимости (C_{pkL}) процесса выражают в виде разности 50%-ной квантили распределения $X_{50\%}$ и нижней границы поля допуска L, деленной на длину нижнего опорного интервала:

$$C_{pkL} = \frac{X_{50\%}-L}{X_{50\%}-X_{0.135\%}}. \quad (7)$$

Для анализа вычисляют наименьший индекс воспроизводимости процесса (C_{pk}):

$$C_{pk} = min(C_{pkU}, C_{pkL}) \quad (8)$$

5.1 Анализ воспроизводимости

Выборка должна быть составлена таким образом, чтобы можно было оценить стабильность, воспроизводимость ТСП.

Индексы воспроизводимоси предоставляют информацию о том, насколько плотно сгруппированы значения характеристики вокруг центральной линии и могут ли быть нарушены требования норм. Даже если

индекс C_p принимает достаточно высокое значение, низкое значение индекса C_{pk} показывает, что процесс слабо сконцентрирован вокруг центральной линии и вероятность появления значений характеристики, выходящих за границы установленных требований, высока. Условием воспроизводимости ТСП является выполнение неравенств:

$$(\hat{C}_{pk}, \hat{C}_p) > 1{,}1 \quad (9)$$

или

$$(\hat{C}_{pk}, \hat{C}_p) > 1{,}0. \quad (10)$$

Воспроизводимым является процесс, у которого выборочный опорный интервал характеристик качества в рамках партий и поставок не выходит за границы поля допуска. Это условие должно обеспечиваться для каждого показателя качества (временного сопротивления, условного предела текучести, относительного удлиннения и др.)

Границы поля допуска характеристик качества определяются в соответствии с федеральными, отраслевыми нормами и проектными требованиями на продукцию, ТУ производителя.

5.2 Анализ пригодности

Пригодность процесса относительно характеристик качества продукции есть достигнутое распределение результатов. Важное различие между пригодностью и воспроизводимостью процесса состоит в том, что анализ пригодности процесса осуществляется для производств при отсутствии анализа состояния статистической управляемости.

Индексы пригодности процесса аналогичны индексам воспроизводимости определяемых по формулам (5)–(8) и условие пригодности определяется по фолрмуле.

$$(\hat{C}_{pk}, \hat{C}_p) \geq 0{,}96. \quad (11)$$

Оценки доли единиц, значения контролируемой характеристики которых менее L и более U, определяют по формулам:

$$\hat{p}_L = 1 - \Phi(3\hat{C}_{pkL}), \quad (12)$$

$$\hat{p}_U = 1 - \Phi(3\hat{C}_{pkU}), \quad (13)$$

где Ф – функция распределения нормированного нормального распределения.

5.3 Выводы по результатам анализа воспроизводимости и пригодности

По результатам анализа воспроизводимости и пригодности определяются условия контроля:

Если статистические характеристики выборки ГС соответвуют условию (9), приемка осуществляется с пониженным уровнем контроля.

Если статистические характеристики выборки ГС соответствуют условию (10) и не удовлетворяют требованиям (9), приемка осуществляться по процедурам нормального уровня контроля.

Если статистические характеристики выборки ГС соответвуют условию (11), но не удовлетворяют требованиям (10), приемка осуществляется по процедурам усиленного уровня контроля.

Если статистические характеристики выборки ГС не удовлетворяют требованиям воспроизводимости и пригодности, приемка продукции в этом случае по механическим свойствам (ГОСТ 27751-2014), определяющим конструктивные параметры, осуществляется поштучно.

В целом анализ статистических характеристик выборки ГС определяет схему проведения контроля.

6. ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАРТИЙ ПРОКАТА И ИЗДЕЛИЙ ТРЕБОВАНИЯМ СТАНДАРТА ГОСТ 27751-2014 «НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВАНИЙ» В УСЛОВИЯХ КРУПНОСЕРИЙНОГО И ПОЗАКАЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Традиционный приемочный контроль механических свойств листового проката, фасонного проката и гнутых профилей при (ГОСТ 14637, ГОСТ 19281, ГОСТ 535, ГОСТ 31147 и др.) при отбраковке снизу требует выполнения условия:

$$x_{\min} \geq C, \tag{14}$$

где

C – нормативное значение контролируемой характеристики, регламентированное стандартом;

$x_{\min}$ – минимальное значение этой характеристики, получаемое при испытании n образцов, отобранных случайно из контролируемой партии.

Если условие (14) не выполняется, то допускается проведение $2n$ повторных испытаний, т.е. на удвоенной выборке, взятой от той же партии (например, ГОСТ 31447-2012, п. 6.4). Партия металла считается выдержавшей испытания по данной характеристике, если при повторных испытаниях условие (14) выполняется (результаты первичных испытаний не учитываются).

Для выполнения требования об обеспеченности контролируемого свойства в партии не ниже величины 0,95 необходим иной план контроля:

$$\overline{x}_n \geq C_n, \tag{15}$$

где

C_n – приемочное число, значение которого определяется для n образцов с использованием статистического или байесовского подхода, а значит и статистической информации о контролируемой характеристике в объеме партий данного вида проката. Приемочное число учитывает требование заданной обеспеченности 0,95;

$\overline{x}_n$ – среднеарифметическое значение характеристики, полученное при испытании n образцов от контролируемой партии.

Если условие (15) не выполняется, то допускается проведение повторных испытаний удвоенного числа образцов. При этом партия считается выдержавшей испытания, если выполняется условие:

$$\overline{x}_{n+2n} \geq C_{n+2n}. \quad (16)$$

В этом случае учитываются результаты первичных и повторных испытаний. Приемочное число устанавливается для $n+2n$ образцов.

При оценке в качестве критерия принимается значение, например, предела текучести, имеющее обеспеченность 0,95 в распределении этой характеристики стали в совокупности партий проката, труб, гнутых профилей одного вида (размер, сталь, термообработка и др.), признанных кондиционными после приемочного контроля по этой характеристике.

Считаем, что распределения характеристики x (предел текучести) в каждой партии данного вида проката, труб, гнутых профилей имеют одинаковую дисперсию S_0^2 и отличаются друг от друга только средним значением y – случайной величиной с плотностью вероятности p(y), параметрами которой являются математическое ожидание $\overline{x}$ и дисперсия S^2.

6.1 Оценка соответствия механических свойств партий проката и изделий требованиям стандарта ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» в условиях крупносерийного производства

При крупносерийном производстве, характерном для стандартного строительного проката, приемочное число определяется на основе байесовского подхода.

Заданная вероятность выполнения норм предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения каждой партии и всего объема поставляемого проката достигается статистической оценкой уровня и неоднородности свойств металла при определенном технологическом процессе, а также процедурой контроля, предусмотренными настоящим стандартом и осуществляемыми изготовителем.

6.1.1 Оценивание соответствия механических свойств каждой партии требованиям стандарта осуществляется на основании результатов испытаний образцов, отобранных и изготовленных в соответствии с условиями:

а) для проверки механических свойств проката от партии отбирают:

- от фасонного проката – два профиля;

- широкополосного универсального и листового проката – по два листа;

- листового проката в рулонах – два рулона.

б) Отбор проб для механических и технологических испытаний производят по ГОСТ 7564. Из фасонного и широкополосного универсального проката образцы вырезают вдоль, из листового – поперек направления прокатки.

в) От каждой контролируемой единицы проката отбирают по одной пробе. Из каждой пробы изготавливают для испытания на растяжение по одному образцу.

Для проката допускается оценивание механических свойств с помощью уравнений регрессии, отражающих связь между пределом текучести, временным сопротивлением и относительным удлинением с одной стороны и химическим составом по ковшевой пробе, размером профиля и прочими регистрируемыми технологическими факторами – с другой.

6.1.2 При статистической обработке результатов N испытаний, образующих выборку, определяют выборочное среднее ($\bar{X}$) по формуле:

$$\bar{X} = \frac{1}{\mathrm{N}} \sum_{i=1}^{\mathrm{N}} X_i, \tag{17}$$

где $X_1, X_2 \ldots X_N$ – совокупность значений случайной величины X, образующих выборку, и несмещенную оценку среднего квадратического отклонения (S_r) по формуле:

$$S_r = \sqrt{\frac{1}{N-1}} \sum_{i=1}^{N} (\mathrm{X}_i - \bar{X})^2, \tag{18}$$

а также разность (h) между $\bar{X}$ и нормативным значением (C), приведенным в нормах.

Величина h для предела текучести и временного сопротивления должна быть не менее 1,645 S_r. Если это условие для каких-либо выборок не выполняется, то изготовление этого вида проката по настоящему стандарту не допускается.

6.1.3 Распределение характеристики в выборке предполагается соответствующим нормальному закону. Проверка гипотезы о нормальном законе распределения выполняется в соответствии с нормативно-технической документацией. Уровень значимости согласия эмпирического и нормального распределений должен быть не ниже 0,01.

Оценивание анормальности результатов испытаний, вошедших в выборку, проводят по нормативно-технической документации при уровне значимости, равном 0,05.

6.1.4 После пуска нового прокатного оборудования или после изменения технологических процессов и отсутствия, в связи с этим, статистических оценок свойств проката, для предела текучести и временного сопротивления допускается принять значение S_r = 28 Н/мм^2, а для относительного удлинения S_r = 3%. При этом для всех трех характеристик:

$$\bar{X} = C + 1{,}645 x S_r \qquad (19)$$

При накоплении результатов испытаний значения $\bar{X}$ и S_r корректируются по представлению независимого инспекционного органа.

6.1.5 По данному стандарту оценку среднего квадратического отклонения предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения в партии определяет предприятие-изготовитель экспериментально. Испытываются не менее трех случайных партий проката, входящих в данную генеральную совокупность. От каждой партии испытывается не менее 50 образцов, отобранных случайно. Случайность обеспечивается соответствием ГОСТ 18321.

Для последующего использования принимается величина S_0, полученная как среднее арифметическое значение выборочных средних квадратических отклонений в испытанных партиях, вычисленных по формуле (2).

Если для предела текучести и временного сопротивления полученное значение S_0 меньше 10 Н/мм^2, принимается S_0 = 10 Н/мм^2.

Значение S_0 корректируется не реже одного раза в год с использованием методики, описанной выше, или методом размахов по результатам испытаний проката, образующих генеральную совокупность. Корректировка производится независимым инспекционным органом.

Накопление данных проводят в течение первого года поставки с корректировкой не реже одного раза в год.

6.1.6 Оценивание соответствия механических свойств партий проката и гнутых профилей требованиям стандарта

6.1.7 Механические свойства партии проката оценивают по результатам испытания на растяжение двух образцов (n = 2). Среднее арифметические значения ($\bar{X}_n$) этих результатов для предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения должны быть не меньше соответствующих значений приемочных чисел (C_n), определяемых по формуле:

$$C_n = \frac{1}{n}[\text{С}(\text{Б} + n) + 1{,}645 S_0 \sqrt{(\text{Б} + n)(\text{Б} + n + 1)} - \text{Б}\,\bar{\text{X}}], \qquad (20)$$

где $\text{Б} = \frac{S_0^2}{S_r^2 - S_0^2}$.

Если при испытании на растяжение двух образцов требование 6.1.7 настоящего приложения не выполняется хотя бы для одной из характеристик, то проводится испытание еще четырех образцов, отобранных от четырех разных листов или штанг. Результаты испытаний считаются удовлетворительными, если для предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения $\bar{X}_n$ не меньше C_n при n = 6.

При необходимости формирования выборки используют результаты только первых двух испытаний.

При статистическом оценивании соответствия механических свойств партий проката требованиям стандарта с помощью уравнений регрессии минимальное количество партий, подвергаемых прямым испытаниям на растяжение, устанавливается в зависимости от меньшего из значений параметра Z, вычисленных для предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения по формуле

$$Z = \frac{\text{h}}{\sqrt{S_r^2 - S_0^2}}. \qquad (21)$$

При $Z \geq 2{,}0$ – испытывается не менее одной из 10 партий;

при $1{,}6 \leq Z < 2{,}0$ – испытывается не менее одной из 5 партий;

при $Z < 1{,}6$ – испытывается каждая партия.

Оценивание надежности прогнозирования механических свойств по уравнениям регрессии осуществляется с помощью контрольных карт или иных методик.

6.1.8 Оценивание соответствия механических свойств рулонного проката требованиям стандарта.

Оценивание соответствия уровня механических свойств партии проката, поставляемого в рулонах, требованиям стандарта осуществляется с использованием статистических зависимостей и с учетом разницы в уровне прочностных и пластических характеристик наружных витков и средней части рулона.

Статистические зависимости могут быть выражены уравнениями регрессии, отражающими связь предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения в средней части рулона с результатами испытаний наружных витков, химическим составом по ковшевой пробе, толщиной листа, температурными режимами прокатки и смотки в рулон, а также с другими регистрируемыми параметрами, получаемыми при использовании неразрушающих методов контроля.

Выборка, используемая для оценивания уровня и неоднородности механических свойств проката, поставляемого в рулонах, составляется по результатам испытаний образцов, случайно отобранных из средней части рулонов при их порезке на листы. В выборку включают результаты испытаний образцов, отобранных не менее чем от 50 партий-плавок. От каждой партии образцы отбирают от равного числа рулонов (не менее двух), от каждого рулона отбирается равное число образцов. Для выборки определяют значения $\overline{X}$, S и h).

Остальные требования к выборкам, характеризующим механические свойства проката, поставляемого в рулонах, должны соответствовать 6.1.1 настоящего раздела.

Выборки для характеристик, являющихся аргументами в уравнениях регрессии, составляют в соответствующих объемах.

Прогнозирование и оценивание соответствия свойств партии проката, поставляемого в рулонах, требованиям стандарта с помощью уравнений парной и множественной регрессии допускается при величине коэффициента парной и, соответственно, множественной корреляции не ниже 0,4 и проводится в соответствии с 6.1.7 настоящего документа.

Для предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения определяется экспериментальная величина C_0, для чего испытывается прокат не менее трех случайных партий, входящих в данную

генеральную совокупность. От каждой партии отбирают три рулона, от каждого рулона – не менее 20 образцов равномерно по длине раската.

Если для предела текучести и временного сопротивления полученное значение S_0 меньше 10 Н/мм^2, принимается S_0 = 10 Н/мм^2.

Для предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения параллельно формируется выборка случайной величины – Δ. Величина Δ – разность среднего арифметического значения результатов испытаний двух образцов, отобранных от наружных витков двух рулонов партии, и среднего арифметического значения результатов испытаний такого же числа образцов, отобранных от средней части этих же рулонов.

Для величины Δ определяются выборное среднее ($\overline{\Delta}$) и среднее квадратическое отклонение (C).

Для оценивания соответствия партии проката требованиям стандарта проводят испытание двух образцов, отобранных из наружных витков двух случайных рулонов партии, и определяют среднее арифметическое значение ($\overline{X}_n$) результатов этих испытаний.

Расчетные значения предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения определяют по формуле:

$$X_0 = \overline{X}_n - \overline{\Delta} - S_\Delta. \qquad (22)$$

Расчетные значения должны быть не меньше приемочного числа C_n, определяемого по формуле (20) настоящего приложения, при n = 2.

Настоящая методика применима к условиям массового, крупносерийного производства металлопроката.

6.2 Оценка соответствия механических свойств партий проката и изделий требованиям стандарта ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» в условиях позаказного производства трубной продукции

Настоящая методика устанавливает общие требования к организации и нормативно-методическому обеспечению выборочного приемочного контроля качества (далее – ВПК) трубной продукции, производимых и поставляемых позаказно в виде партий. Особенностью производства трубной продукции является поставка под конкретные проекты отличающиеся техническими требованиями, диаметром, рабочим давлением температурой

эксплуатации, температурой строительства, толщиной стенки, классом прочности, и т.д. что требует переналадки ТСП.

ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» содержит раздел 7 «Свойства строительных материалов и грунтов», для материалов, прошедших приемочный контроль или сортировку, требует обеспеченность нормативных значений их прочностных характеристик не ниже 0,95.

В связи с этим потребовалось создание методического документа, позволяющего выполнить важное требование по нормативному обеспечению приемочного контроля не ниже 0,95.

6.2.1 Выборочный приемочный контроль.

Выборочный приемочный контроль с обеспеченностью не ниже 0,95 возможен только для технологических ситем производства принимаемой продукции отвечающих требованиям пригодности, воспроизводимости, состоянию статистической управляемости в соответствии с разделом 5, 5.1, 5.2. При согласовании потребителя, оценка состояния ТСП возможна на основе мониторинга незвисимой инспекционной компании на основании статистического анализа связи между параметрами качества, пределом текучести, временным сопротивлением и относительным удлиннением с одной стороны, и регистрируемымии параметрами стабильности технологических процессов производства с другой .

Непосредственно оценка соответвия механических свойств каждой партиии продукции нормативным требованиям осуществляется на основании результатов испытаний образцов, отбранных и изготовленных требованиями государственных норм на продукцию, принятых потребителем.

Правила отбора единиц в выборку производятся в соответствии с ГОСТ 18321-73 (СТ СЭВ 1934-79).

Процедура выборочного приемочного контроля заключается в вычислении (по данным результатов испытаний образцов и контроля изделий из выборки) значения выборочного среднего и дисперсии

$$\bar{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i, \tag{23}$$

$$\widehat{\sigma^2} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})^2 \tag{24}$$

и сравнения с установленными в соответствии с формулами таблицы 1 нижней и верхней приемочными границами.

Партия изделий обладает несоответствием по контролируемому показателю качества, если значение показателя качества изделия удовлетворяет одному из следующих условий:

- $\{\bar{X}$ <НПГ$\}$ – когда в технических требованиях установлено наименьшее предельное значение показателя качества L;
- $\{\bar{X}$ >ВПГ$\}$ – когда в технических требованиях установлено наибольшее предельное значение показателя качества U;
- $\{\bar{X}$ <НПГ$\}$ либо $\{\bar{X}$ > ВПГ$\}$ – когда в технических требованиях установлены наименьшее и наибольшее предельные значения показателей качества L и U.

Изделие обладает несоответствием, когда результат испытаний выходит за пределы показателей качества L и U.

Таблица 1 – Установление приемочных границ для каждой характеристики

Требование к показателю качества	Исходные данные	Приемочные границы:	
		Нижняя НПГ	Верхняя ВПГ
$X \geq L$	n, L, σ_0	$L + K_2\,\sigma_0$	-
$X \leq U$	n, U, σ_0	-	$U - K_2\,\sigma_0$
$L \leq X \leq U$	n, L, U, σ_0	$L + K_2\,\sigma_0$	$U - K_2\,\sigma_0$
Примечание – Значения коэффициента K_2 определяется по формуле 25 в зависимости от значений n (количества образцов в выборке) и уровня контроля качества.			

Коэффициент K_2 определяется по формуле:

$$K_2 = A \cdot n^B + C, \qquad (25)$$

где значения параметров A, B и C представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значение параметров формулы (25) при различных уровнях контроля

Параметры	Значение при уровне контроля Усиленный	Значение при уровне контроля Нормальный	Значение при уровне контроля Ослабленный
A	–1,649	–1,649	–1,641
B	–0,5023	–0,5086	–0,5045
C	2,967	2,8	2,645

Процедура принятия решений о приемке или отклонении партии продукции производится в следующем порядке.

С целью принятия решения о приемки или отклонения партии продукции:

- Определяется начальный объем выборки (для труб – 2 изделия из партии);
- фиксируются данные результатов испытания n = 2 образцов от 2 изделий на растяжение (для труб в кольцевом направлении) выборки X_1, X_2, ..., X_n для каждой приемочной характеристики качества;
- вычисляются выборочное среднее $\bar{X}$ и $\widehat{\sigma^2}$ по формулам (23) и (24);
- в соответствии с данными таблицы 1 и с учетом уровня качества вычисляются верхняя (далее – ВПГ) и/или нижняя (далее – НПГ) приемочные границы для каждой характеристики качества продукции;
- для каждой характеристики качества сравниваются полученное значение выборочного среднего с ВПГ и/или НПГ. На основании этого принимается решение о приемке или отклонении партии продукции по правилам, приведенным в Таблице 3.

Таблица 3 – Правила приемки или отклонения партии продукции

Требование к показателю качества изделия	Решение по партии	
	Приемка	Отклонение
$X \geq L$	$\bar{X} \geq$ НПГ	$\bar{X} <$ НПГ
$X \leq U$	$\bar{X} \leq$ ВПГ	$\bar{X} >$ ВПГ
$L \leq X \leq U$	НПГ $\leq \bar{X} \leq$ ВПГ	$\bar{X} <$ НПГ или $\bar{X} >$ ВПГ

Если отклонение от ВПГ и/или НПГ незначительно и при этом выполняется условие первой графы таблицы 3 для всех X, то испытания продолжаются на удвоенном количестве новых образцов, с учетом результатов предыдущих испытаний при n = 6 и пересчетом соответственно ВПГ и/или НПГ.

Если и в этом случае среднее результатов испытаний отклоняются от ВПГ и/или НПГ и для всех X выполняются условия графы 1 таблицы 3,

приемка осуществляется при больших n с учетом всех предыдущих испытаний до получения положительного результата.

При наступлении отрицательного результата, выхода X за пределы нормативного показателя (см. таблицу 3) труба бракуется, оставшиеся трубы из партии испытываются поштучно.

В процессе производства и поставки продукции в условиях мониторинга ТСП независимым инспекционным органом, по мере формирования базы данных, стабильности и статистической управляемости технологических процессов, независимый инспекционный орган вправе принять решение о переходе на более низкий уровень контроля.

Если в процессе контроля качества не подтверждается принятый уровень контроля, и приемка осуществляется преимущественно с дополнительными испытаниями, инспекционный орган принимает решение о повышении уровня контроля.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Обоснование методики контроля и оценки механических свойств проката

Традиционный приемочный контроль механических свойств проката, проката и гнутых профилей при (ГОСТ 14637, ГОСТ 19281, ГОСТ 535, ГОСТ 31147 и др.) при отбраковке снизу требует выполнения условия:

$$x_{\min} \geq C, \qquad (А.1)$$

где C – нормативное значение контролируемой характеристики, регламентированное стандартом;

$x_{\min}$ – минимальное значение этой характеристики, получаемое при испытании n образцов, отобранных случайно из контролируемой партии.

Если условие (А.1) не выполняется, то допускается проведение $2n$ повторных испытаний, т.е. на удвоенной выборке, взятой от той же партии (например, ГОСТ 31447-2012, п. 6.4). Партия металла считается выдержавшей испытания по данной характеристике, если при повторных испытаниях условие (А.1) выполняется (результаты первичных испытаний не учитываются).

Для выполнения требования об обеспеченности контролируемого свойства в партии не ниже величины 0,95 необходим иной план контроля:

$$\overline{x}_n \geq C_n, \qquad (А.2)$$

где

C_n – приемочное число, значение которого определяется для n образцов с использованием статистического или байесовского подхода, а значит и статистической информации о контролируемой характеристике в объеме партий данного вида проката. Приемочное число учитывает требование заданной обеспеченности 0,95.

$\overline{x}_n$ – среднеарифметическое значение характеристики, полученное при испытании n образцов от контролируемой партии.

Если условие (А.2) не выполняется, то допускается проведение повторных испытаний удвоенного числа образцов. При этом партия считается выдержавшей испытания, если выполняется условие:

$$\overline{x}_{n+2n} \geq C_{n+2n}. \qquad (А.3)$$

В этом случае учитываются результаты первичных и повторных испытаний. Приемочное число устанавливается для n+2n образцов.

При оценке в качестве критерия принимается значение, например, предела текучести, имеющее обеспеченность 0,95 в распределении этой характеристики стали в совокупности партий проката, труб, гнутых профилей одного вида (размер, сталь, термообработка и др.), признанных кондиционными после приемочного контроля по этой характеристике.

Считаем, что распределения характеристики x (предел текучести) в каждой партии данного вида проката, труб, гнутых профилей имеют одинаковую дисперсию S_0^2 и отличаются друг от друга только средним значением y – случайной величиной с плотностью вероятности $p(y)$, параметрами которой являются математическое ожидание $\bar{x}$ и дисперсия S^2.

Исходя из байесовского подхода, плотность вероятности величины x в совокупности партий труб одного вида до проведения приемочного контроля можно представить в виде:

$$\phi(x) = \int f(x,y)p(y)\text{Б}y, \qquad \text{(А.4)}$$

где f(x, y) – плотность вероятности x в случайной партии.

Имеющаяся статистическая информаций о распределениях прочностных характеристик металла, полученная по результатам приемочного контроля, позволяет принять для $p(y)$ и $f(x, y)$ нормальный закон.

Тогда (4) можно представить в виде:

где $S_r^2 = S^2 + S_0^2$.

Обозначив вероятность принятия партии со средним значением y как $g(y)$ и используя (А.4), плотность вероятности характеристики x в прокате, признанном кондиционными, можно представить формулой:

$$\phi_н(x) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} g(y)f(x,y)p(y)\text{Б}y}{\int_{-\infty}^{\infty} g(y)p(y)\text{Б}y} \qquad \text{(А.5)}$$

Распределение характеристики после контроля по условию (А.1)

Рассмотрим надежность приемочного контроля по условию (А.1). Каждую партию проката, труб, гнутых профилей можно охарактеризовать долей металла, в которой значения контролируемой характеристики не меньше нормативного значения:

$$k(y) = \int_C^{\infty} f(x,y)\text{Б}x. \qquad \text{(А.6)}$$

При проведении n испытаний от партии вероятность того, что все полученные результаты не меньше C равна $[k(y)]^n$ (естественно, при соблюдении случайности и независимости отбора проб для испытаний, что и требуют соответствующие нормативные документы). Вероятность того, что хотя бы один результат меньше C, равна $1 - [k(y)]^n$. При переиспытаниях партий с неудовлетворительными результатами первичных испытаний проводится еще $2n$ испытаний. Вероятность того, что при переиспытаниях $2n$ образцов все результаты будут не меньше C, равна $[k(y)]^{2n}$. После приведенных рассуждений можно записать выражение для вероятности принятия партии проката, труб, гнутых профилей по результатам испытаний:

$$q(y) = [k(y)]^n + [k(y)]^{2n} \{1 - k(y)]^n\}. \quad (A.7)$$

Представляя в (5) нормальные распределения в явном виде, с учетом условий (4), (6) и (7) после преобразований получим:

$$\Phi_{\text{ГОСТ}}(x) = \Phi_{\text{н}}(x) \frac{\int_{-\infty}^{\infty}[v(u)]^n[1+[v(u)]^n[1-[v(u)]^n]]e^{-u^2}\text{Б}u}{\int_{-\infty}^{\infty}[w(t)]^n[1+[w(t)]^n[1-[w(t)]^n]]e^{-t^2}\text{Б}t}, \quad (A.8)$$

где

$$v(u) = \frac{\int_{C-uS_1-z}^{\infty} e^{-\omega^2}\text{Б}\omega}{S_0\sqrt{2}},$$

$$w(t) = \frac{\int_{C-ts\sqrt{2}-\bar{x}}^{\infty} e^{-\omega^2}\text{Б}\omega}{S_0\sqrt{2}},$$

$$S_1 = \frac{S_0\sqrt{2}}{\sqrt{1+b}};\ b = \frac{S_0^2}{S^2};\ z = \frac{x+\bar{x}b}{1+b}.$$

Если переиспытания не проводятся, то (8) преобразуется в выражение:

$$\Phi_{\text{ГОСТ}}(x) = \Phi_{\text{н}}(x) \frac{\int_{-\infty}^{\infty}[v(u)]^n e^{-u^2}\text{Б}u}{\int_{-\infty}^{\infty}[w(t)]^n e^{-t^2}\text{Б}t}. \quad (A.9)$$

Распределение характеристики после контроля по условиям (А.2) и (А.3)

Прежде, чем перейти к распределениям прочностных характеристик проката, прошедшего контроль по схеме, описанной в выражениях (А.2) и (А.3), рассмотрим, каким образом с помощью байесовского подхода достигается обеспеченность контролируемой характеристики в партии (в соответствии с ГОСТ 27751-2014 эта обеспеченность равна 0,95).

Апостериорная плотность вероятности средних значений контролируемой характеристики в партиях при байесовском подходе

подчинена, как и исходные распределения f(x,y) и p(y), нормальному закону [1, 2]:

$$p_{Б}(y) = \frac{1}{S_{Б}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-\bar{x}_{Б})^2}{2S_{Б}^2}}, \quad (A.10)$$

где

$$\bar{x}_{Б} = \frac{\bar{x}b+nx_n}{b+n};\ S_{Б}^2 = \frac{S_0^2}{b+n}. \quad (A.11)$$

Очевидно, что $\bar{x}_{Б}$ есть математическое ожидание средних значений партий, показывающих при n контролируемых испытаний средний результат $\bar{x}_n$. Для получения суммарной дисперсии плотности вероятности достаточно воспользоваться известным выражением для суммы дисперсий:

$$S_{С}^2 = S_{Б}^2 + S_0^2 = S_0^2 \frac{b+n+1}{b+n}. \quad (A.12)$$

Предельное положение $\bar{x}_{Б}$, обусловленное требуемой обеспеченностью q контролируемой характеристики в партии, должно превышать норму С на $t_q S_0$, где t_q – квантиль нормального распределения, соответствующий обеспеченности q.

Тогда с учетом (11) и (12) имеем равенство:

$$\frac{\bar{x}b+n\bar{x}_n}{b+n} = C + t_q S_0 \sqrt{\frac{b+n+1}{b+n}}.$$

Отсюда формула приемочного числа с учетом (2) записывается в виде:

$$C_n = \frac{1}{n}\left[C(b+n) + t_q S_0 \sqrt{(b+n+1)(b+n)} - b\bar{x}\right]. \quad (A.13)$$

Распределение средних значений выборок объемом r из партии имеет дисперсию $\frac{S_0^2}{r}$ и подчинено нормальному закону с плотностью вероятности $f(x_r, y)$. Каждую партию можно охарактеризовать вероятностью выполнения условий (2) и (3), приняв:

$$C_r = C_n \text{ или } C_r = C_{n+2n}$$

$$K_r(y) = \int f(x_r, y) Б x_r \quad (A.14)$$

Тогда после проведения приемочного контроля по условиям (2) и (3) вероятность принятия партии запишется в виде:

$$q(y) = K_n(y) + K_{3n}(y) - K_n(y)K_{3n}(y). \quad (A.15)$$

Выражение (А.5) с учетом (А.13), (А.14) и (А.15) после подстановки нормальных распределений в явном виде после преобразований примет вид (распределение в кондиционном металле):

$$\Phi_{\text{конд}}(x) = \Phi_{\text{н}}(x)\frac{\int_{-\infty}^{\infty}(I_1+I_2-\frac{1}{\sqrt{\pi}}I_1I_2)e^{-\alpha^2}\text{Б}\alpha}{\int_{-\infty}^{\infty}(J_1+J_2-\frac{1}{\sqrt{\pi}}J_1J_2)e^{-\beta^2}\text{Б}\beta}, \quad \text{(A.16)}$$

где I_1, I_2, J_1 и J_2 – интегралы вида $\int_a^{\infty} e^{-m^2}dm$. Предел a для интеграла I_1 вычисляется по формуле:

$$a = \frac{\sqrt{n}[C_n(b+1)-\alpha S_0\sqrt{2(b+1)}-x-\bar{x}b]}{S_0(b+1)\sqrt{2}} \quad \text{(A.17)}$$

Для интеграла I_2 в (17) и (13) n следует заменить на $3n$. Предел a для интеграла J_2 вычисляется по формуле:

$$a = \frac{\sqrt{n}[C_n-\beta S\sqrt{2}-\text{x}]}{S_0\sqrt{2}} \quad \text{(A.18)}$$

Для интеграла J_2 в (18) и (13) n следует заменить на 3n. Если переиспытания при поставках проката не проводятся, то (16) обращается в

$$\Phi_{\text{прокат}}(x) = \Phi_{\text{н}}(x)\frac{\int_h^{\infty} e^{-\alpha^2}\text{Б}\alpha}{\int_m^{\infty} e^{-\beta^2}\text{Б}\beta}, \quad \text{(A.19)}$$

где (A.20)

$$h = \frac{\sqrt{n}[C_n(b+1)-x-\bar{x}b]}{S_0\sqrt{2(b+n+1)(b+1)}},$$

$$m = \frac{\sqrt{bn}[(C_n-\bar{x})]}{S_0\sqrt{2(b+n)}}. \quad \text{(A.21)}$$

Дробная часть в выражении (16) есть коэффициент трансформации исходного (до контроля) нормального распределения, зависящий от условий контроля.

Сопоставление результатов контроля свойств стали по условию (А.1) и условиям (А.2), (А.3)

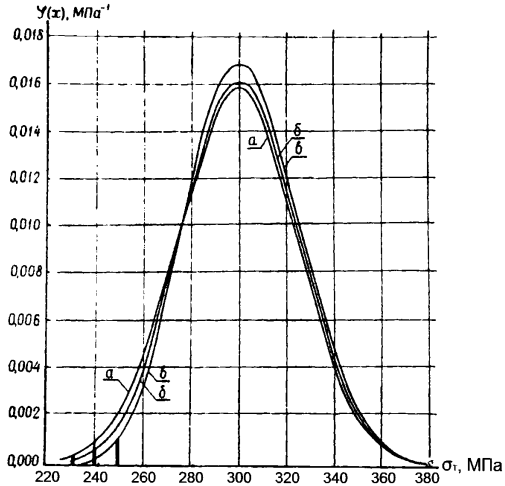


Рисунок А.1 – Плотность вероятности предела текучести проката из стали марки ВСт3кп до и после контроля

На рисунке А.1 приведены плотности вероятности предела текучести в листовом прокате толщиной16–120 мм из стали С245, построенные по формулам (А.4) – линия «а», (А.9) – линия «б» и (А.19) – линия «в». Приняты следующие значения параметров:

$\overline{x}$ = 290 МПа, S_r = 25 МПа, S_0 = 10 МПа, C = 245 МПа, n = 2.

Значение предела текучести R, соответствующее обеспеченности 0,995, равно 235 МПа для линии «а», 240 МПа для линии «б» и 250 МПа для линии «в». Очевидна более высокая эффективность плана контроля, принятого по условиям (А.2) и (А.3).

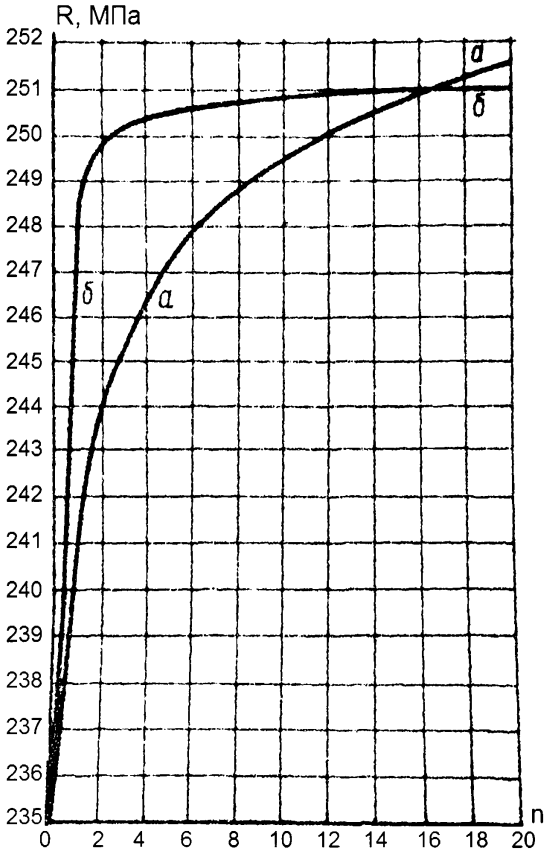


Рисунок А.2 – Зависимость величины расчетного сопротивления от процедуры контроля

На рисунке А.2 для распределений с теми же исходными параметрами, что и в предыдущем примере, приведена зависимость R от числа испытываемых образцов n при осуществлении контроля по условиям (А.1) – линия «а» и (А.2) – линия «б». Эффективность контроля по условию (А.2) выше, вплоть до n = 16.

Из приведенных примеров можно сделать вывод, что при совпадении норма для прочностных характеристик, регламентированных одним из существующих стандартов (ГОСТ 535, ГОСТ 14637, ГОСТ 19281 и др.),

использующих контроль по условию (А.1), обеспеченность нормативных и расчетных сопротивлений ниже, чем при контроле по условиям (А.2) и (А.3).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

О статистической оценке обеспеченности нормативных сопротивлений в строительных сталях

Совершенствование и развитие методов расчета металлических конструкций предусматривают постоянное изучение статистической однородности механических свойств сталей, используемых в конструкциях, и совершенствование методики нормирования этих свойств. Вопросу установления расчетных сопротивлений строительных сталей посвящено много работ [1, 2, 3] и др. В [4] и [5] были получены соотношения, позволяющие дать статистическую оценку обеспеченности расчетных и нормативных сопротивлений в какой-то отдельной партии строительной стали, если имеются результаты (X_1, X_2, …, X_n) n контрольных испытаний этой партии проката и известен характер распределения контролируемого признака (предела текучести или временного сопротивления) как в отдельных партиях (частных совокупностях), так и во всей совокупности этих партий (генеральной совокупности).

Как показывают данные механических испытаний текущей продукции металлургических заводов, эмпирические распределения в генеральной и частных совокупностях во многих случаях могут быть с достаточной степенью точности аппроксимированы нормальным законом. В этом предположении каждая частная совокупность характеризуется двумя параметрами: средним значением $\overline{x_i}$ и средним квадратическим отклонением (стандартом) σ_i. В работе [5] в качестве первого приближения рассматривался случай, когда стандарт в различных партиях отличался незначительно и его можно было считать для всех частных совокупностей постоянным, равным, например, среднему значению стандарта $\overline{\sigma}_i$. В такой постановке вероятность частной совокупности i определяется ее средним значением $\overline{x_i}$ (x_i – случайная величина). Однако вопрос о том, насколько рассеяние значений стандарта частных совокупностей может влиять на

обеспеченность нормативных, а следовательно, и расчетных сопротивлений, представляет значительный интерес. Ниже на рисунке Б.1 представлены графики разброса статистических характеристик трубной продукции по временному сопротивлению:

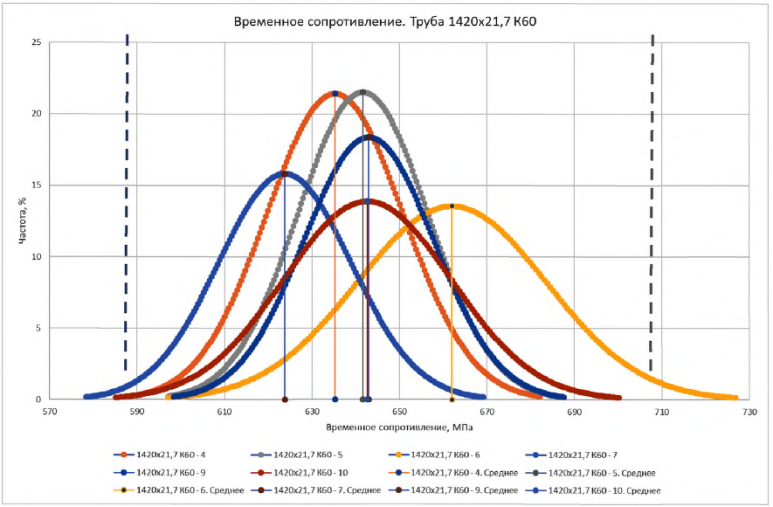


Рисунок Б.1 – Сводный график распределения показателей временного сопротивления для разных партий и заказов

Ниже представлены подробные кривые распределения временного сопротивления для отдельных партий и заказов (рисунки Б.1.1–Б.1.26).

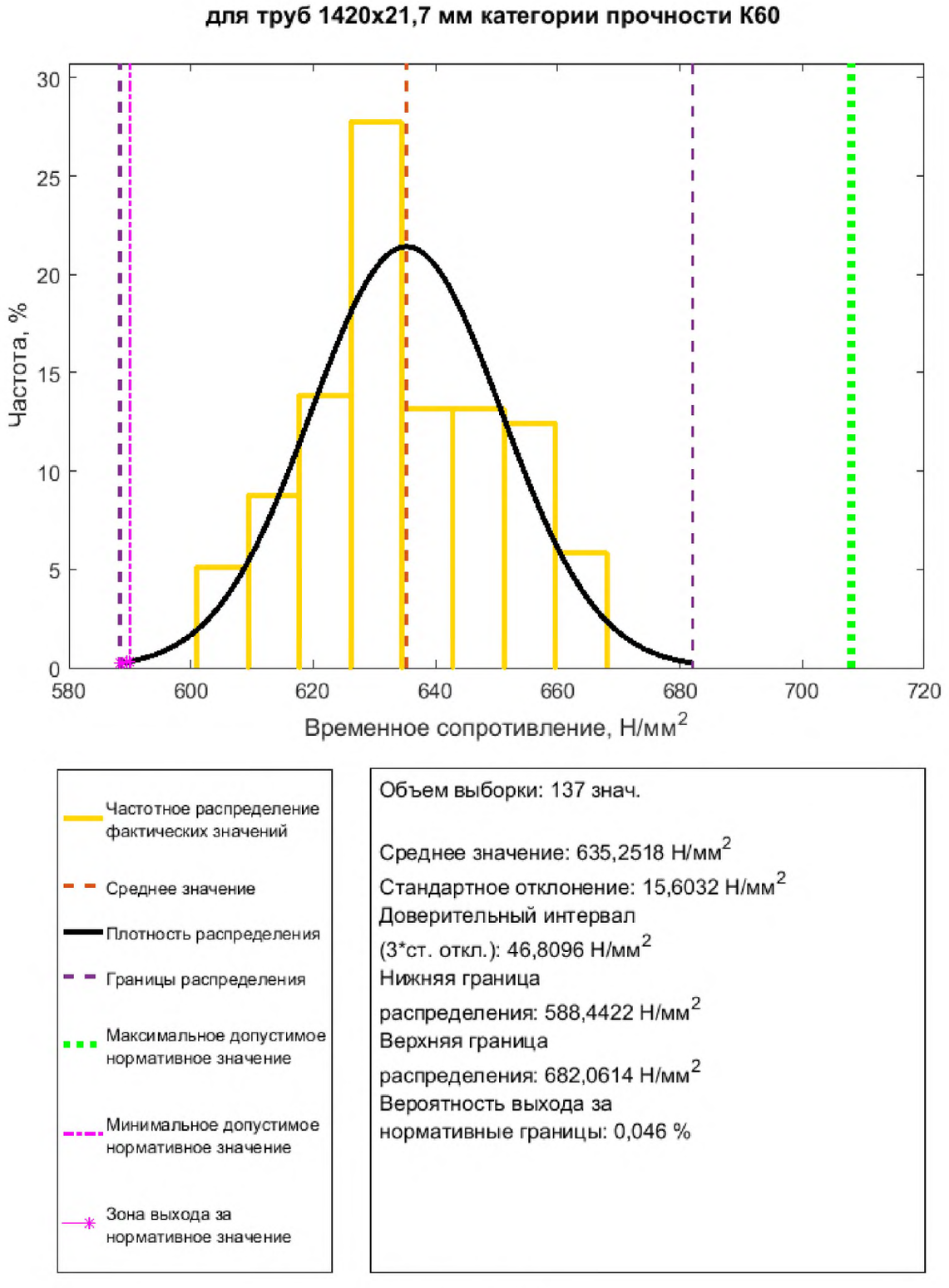

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Временное сопротивление, Н/мм2
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Максимальное допустимое нормативное значение
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 137 знач.
Среднее значение: 635,2518 Н/мм2
Стандартное отклонение: 15,6032 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 46,8096 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 588,4422 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 682,0614 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 0,046 %

Рисунок Б.1.1

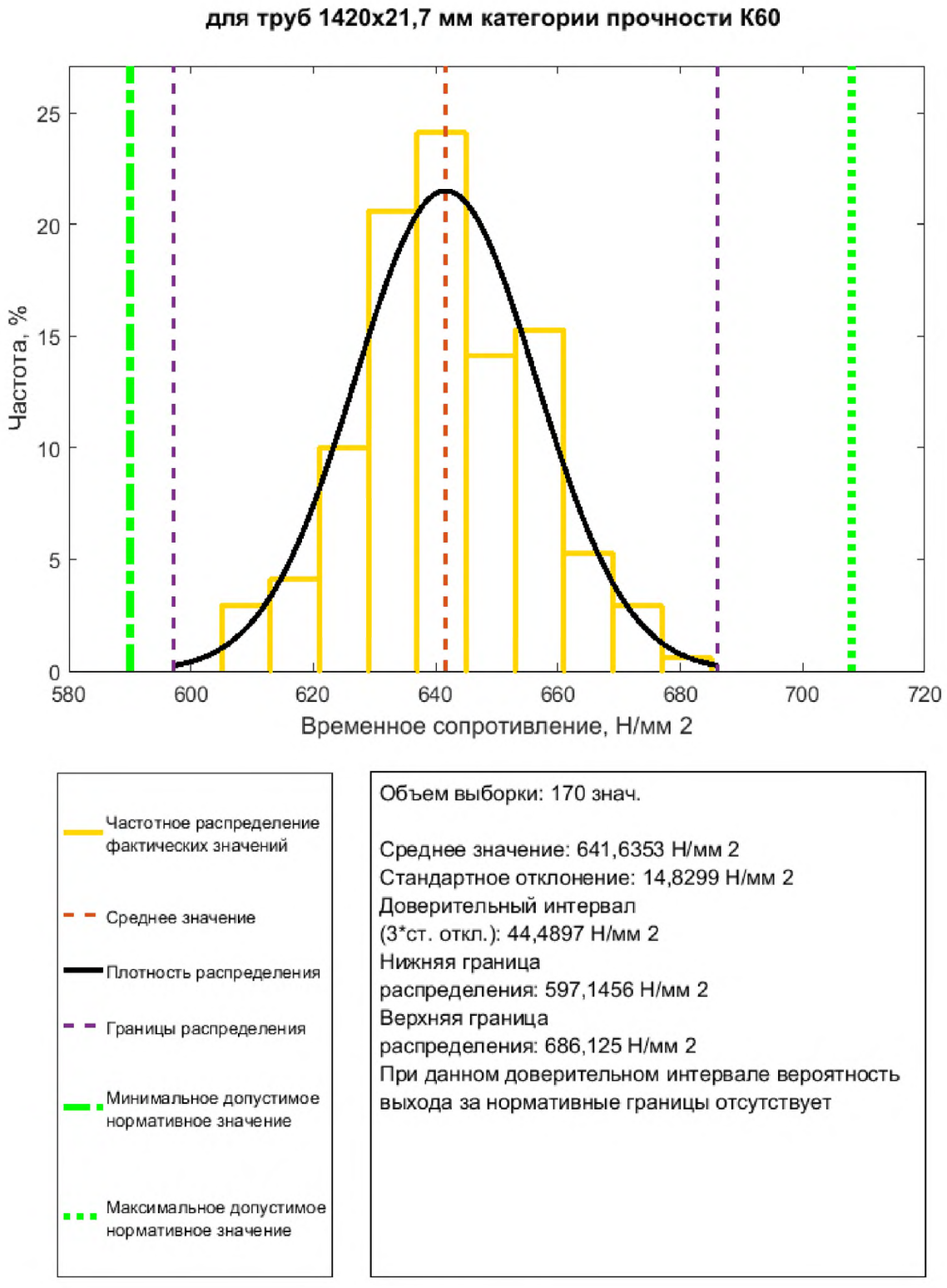

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Временное сопротивление, Н/мм 2
0
5
10
15
20
25
580
600
620
640
660
680
700
720
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Максимальное допустимое нормативное значение
Объем выборки: 170 знач.
Среднее значение: 641,6353 Н/мм 2
Стандартное отклонение: 14,8299 Н/мм 2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 44,4897 Н/мм 2
Нижняя граница распределения: 597,1456 Н/мм 2
Верхняя граница распределения: 686,125 Н/мм 2
При данном доверительном интервале вероятность выхода за нормативные границы отсутствует

Рисунок Б.1.2

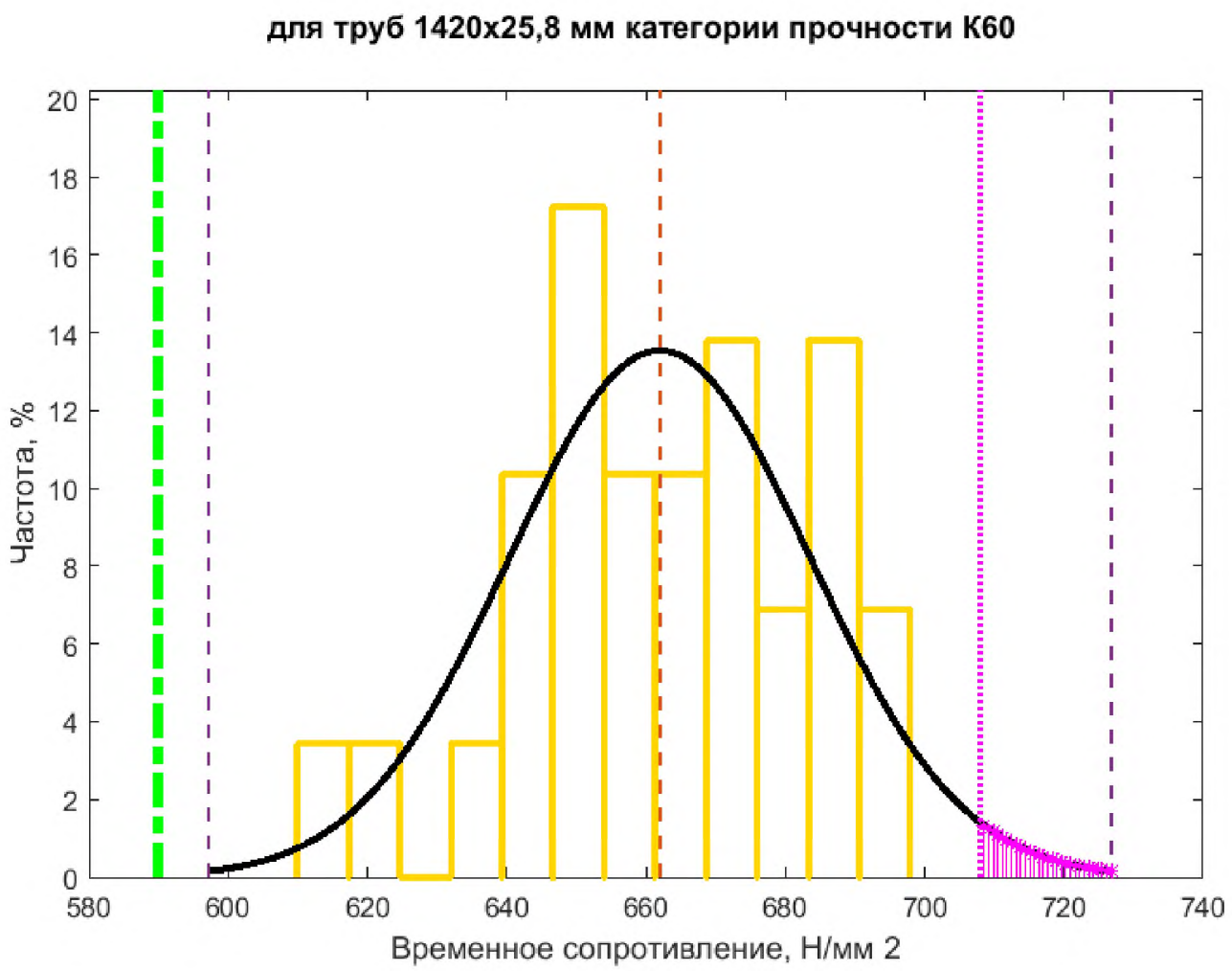

для труб 1420х25,8 мм категории прочности К60
Частота, %
Временное сопротивление, Н/мм 2
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
580
600
620
640
660
680
700
720
740
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Максимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 29 знач.
Среднее значение: 662 Н/мм 2
Стандартное отклонение: 21,6069 Н/мм 2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 64,8207 Н/мм 2
Нижняя граница распределения: 597,1793 Н/мм 2
Верхняя граница распределения: 726,8207 Н/мм 2
Вероятность выхода за нормативные границы: 1,4206 %

Рисунок Б.1.3

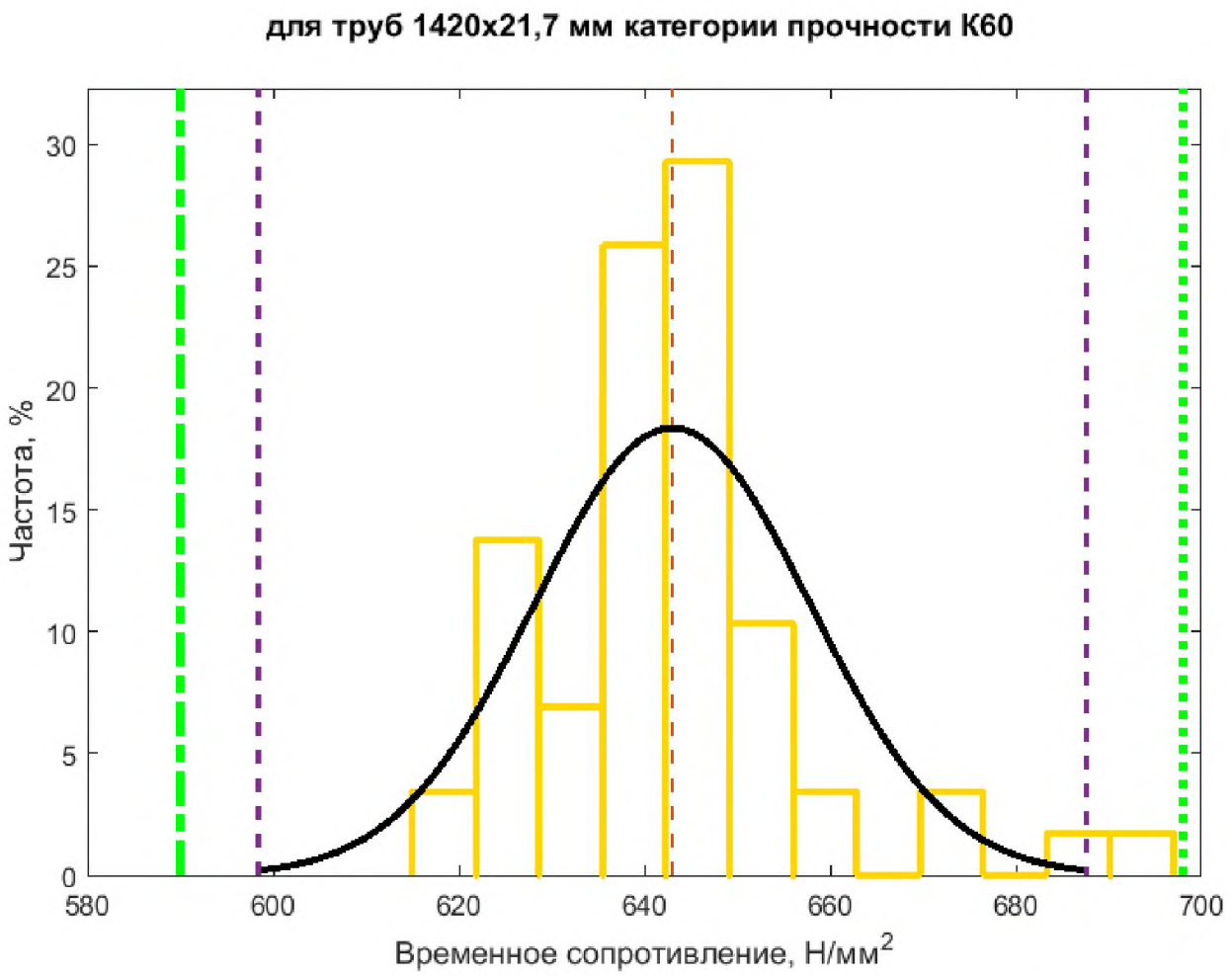

для труб 1420x21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
0
5
10
15
20
25
30
580
600
620
640
660
680
700
Временное сопротивление, Н/мм2
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Максимальное допустимое нормативное значение
Объем выборки: 58 знач.
Среднее значение: 643 Н/мм2
Стандартное отклонение: 14,8442 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 44,5326 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 598,4674 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 687,5326 Н/мм2
При данном доверительном интервале вероятность выхода за нормативные границы отсутствует

Рисунок Б.1.4

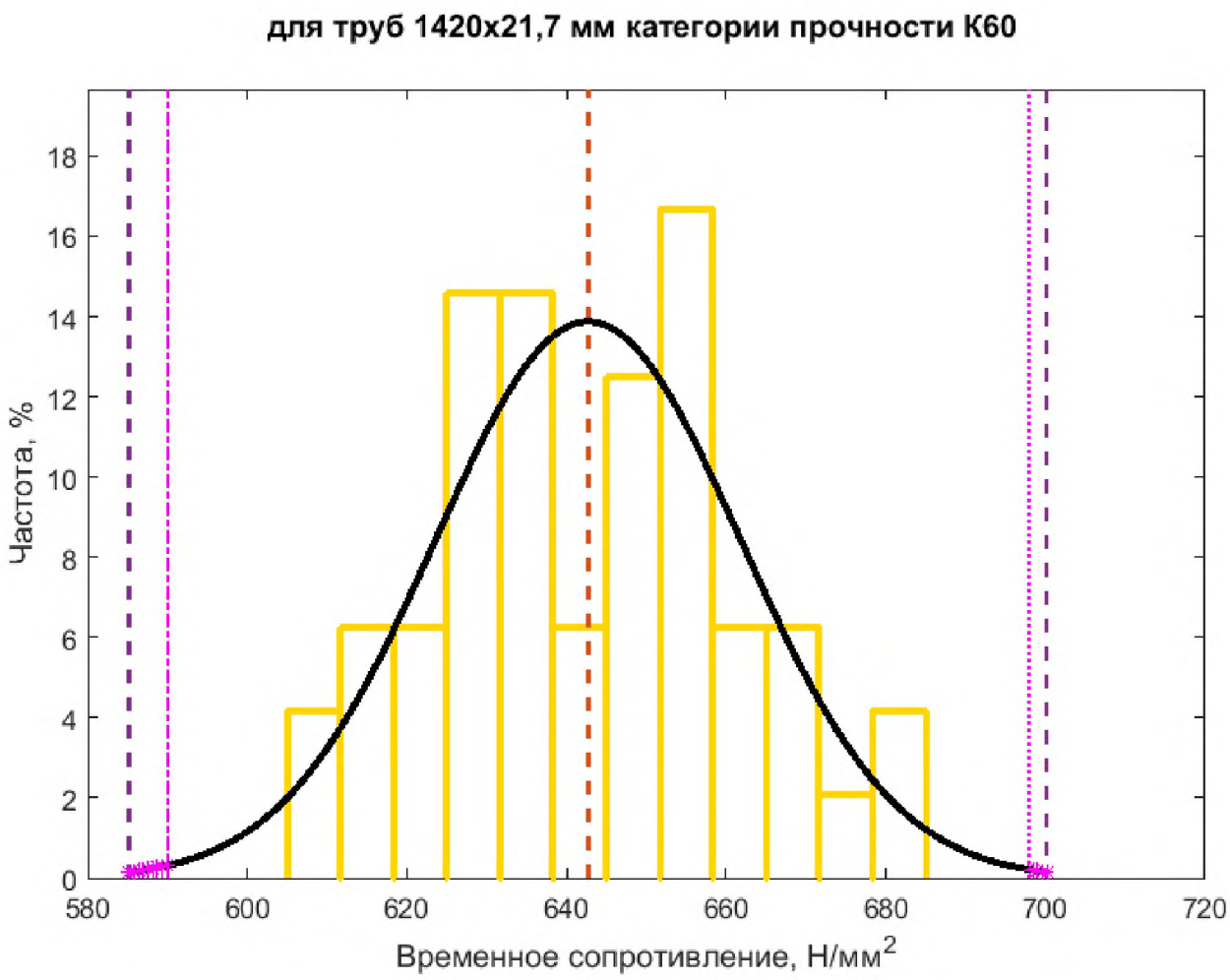

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Временное сопротивление, Н/мм2
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
580
600
620
640
660
680
700
720
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Максимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 48 знач.
Среднее значение: 642,6875 Н/мм2
Стандартное отклонение: 19,1657 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 57,4971 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 585,1904 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 700,1846 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 0,2012 %

Рисунок Б.1.5

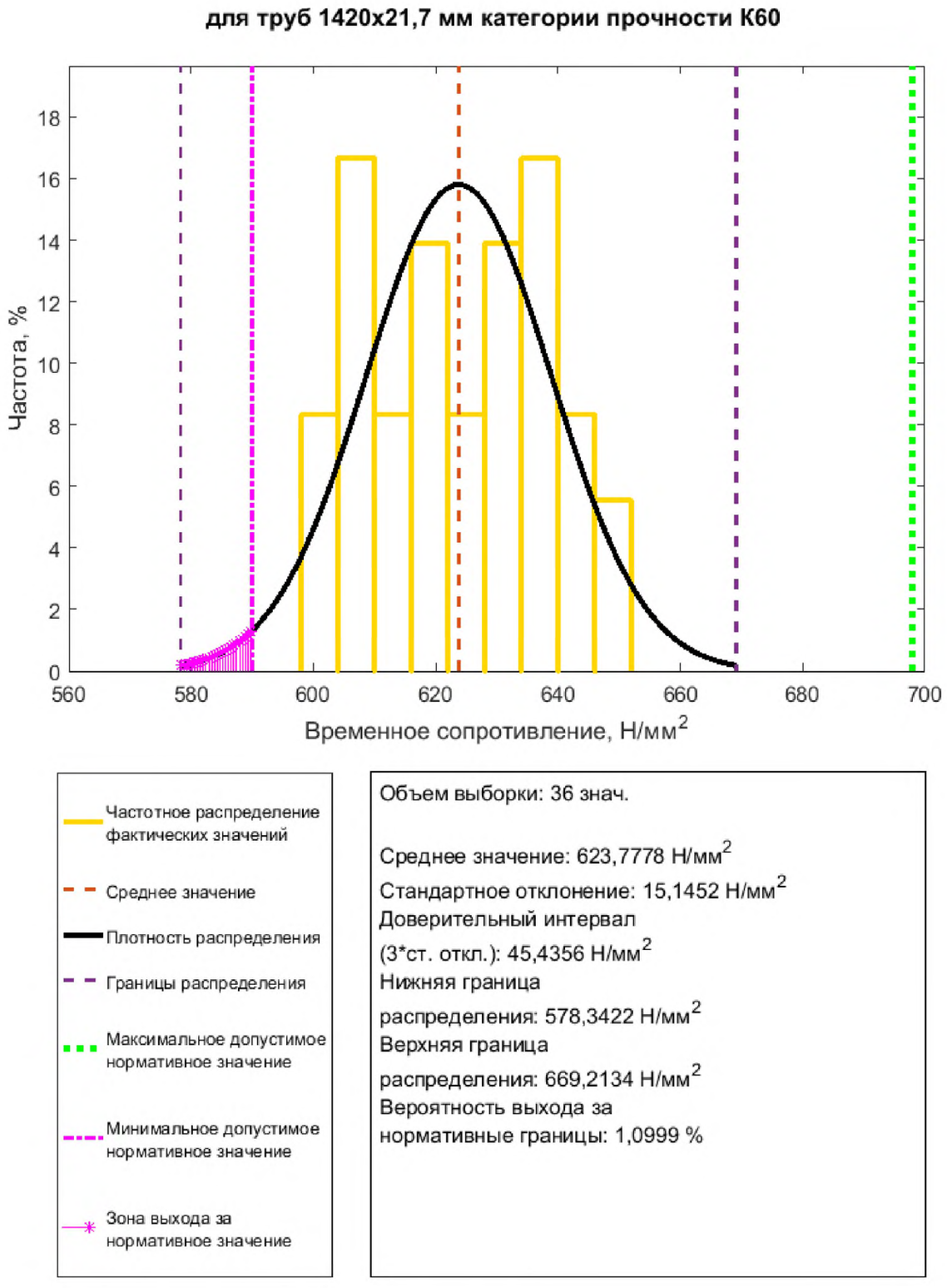

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Временное сопротивление, Н/мм2
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
560
580
600
620
640
660
680
700
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Максимальное допустимое нормативное значение
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 36 знач.
Среднее значение: 623,7778 Н/мм2
Стандартное отклонение: 15,1452 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 45,4356 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 578,3422 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 669,2134 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 1,0999 %

Рисунок Б.1.6

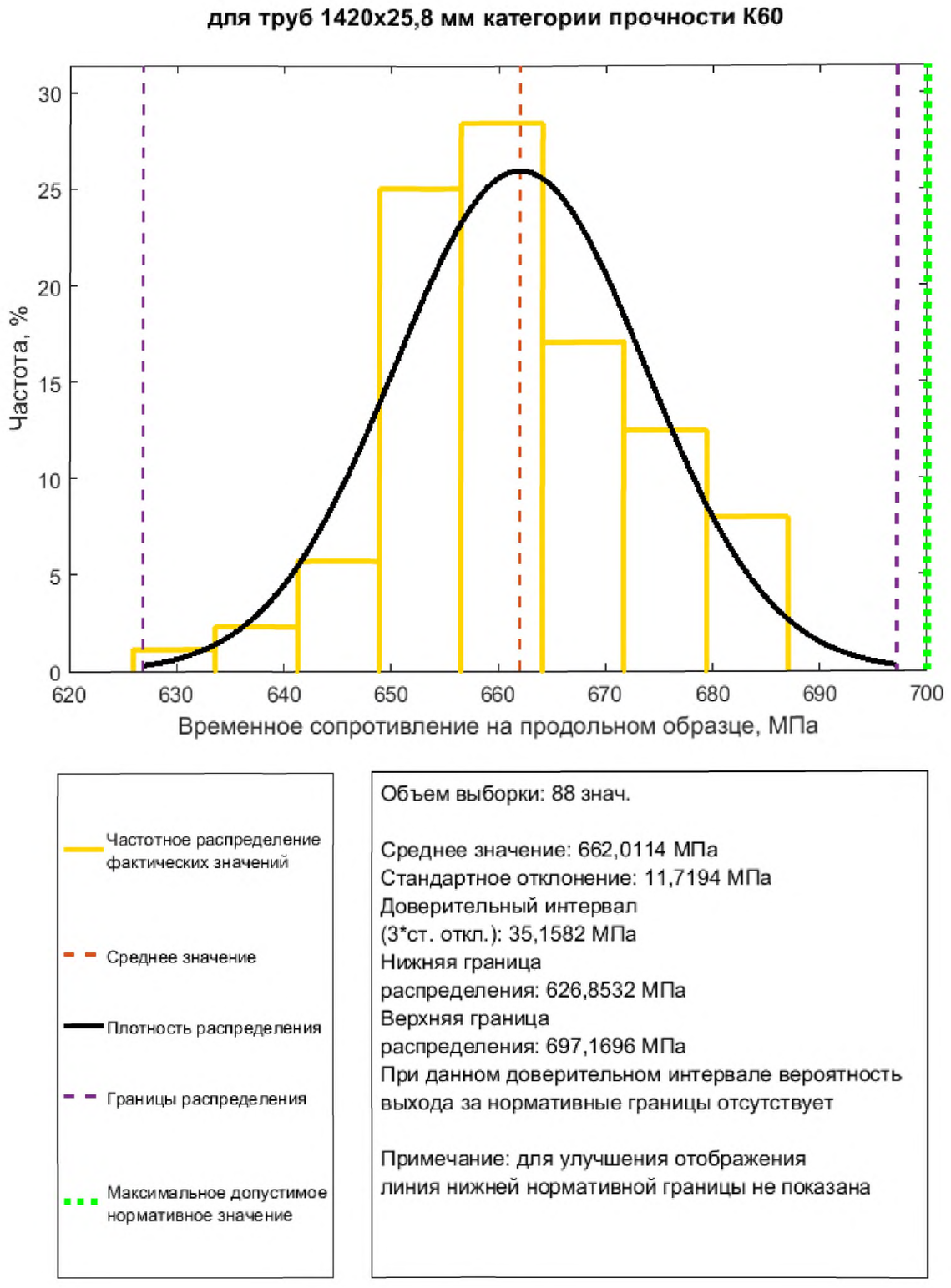

для труб 1420х25,8 мм категории прочности К60
Частота, %
Временное сопротивление на продольном образце, МПа
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Максимальное допустимое нормативное значение
Объем выборки: 88 знач.
Среднее значение: 662,0114 МПа
Стандартное отклонение: 11,7194 МПа
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 35,1582 МПа
Нижняя граница распределения: 626,8532 МПа
Верхняя граница распределения: 697,1696 МПа
При данном доверительном интервале вероятность выхода за нормативные границы отсутствует
Примечание: для улучшения отображения линия нижней нормативной границы не показана

Рисунок Б.1.7

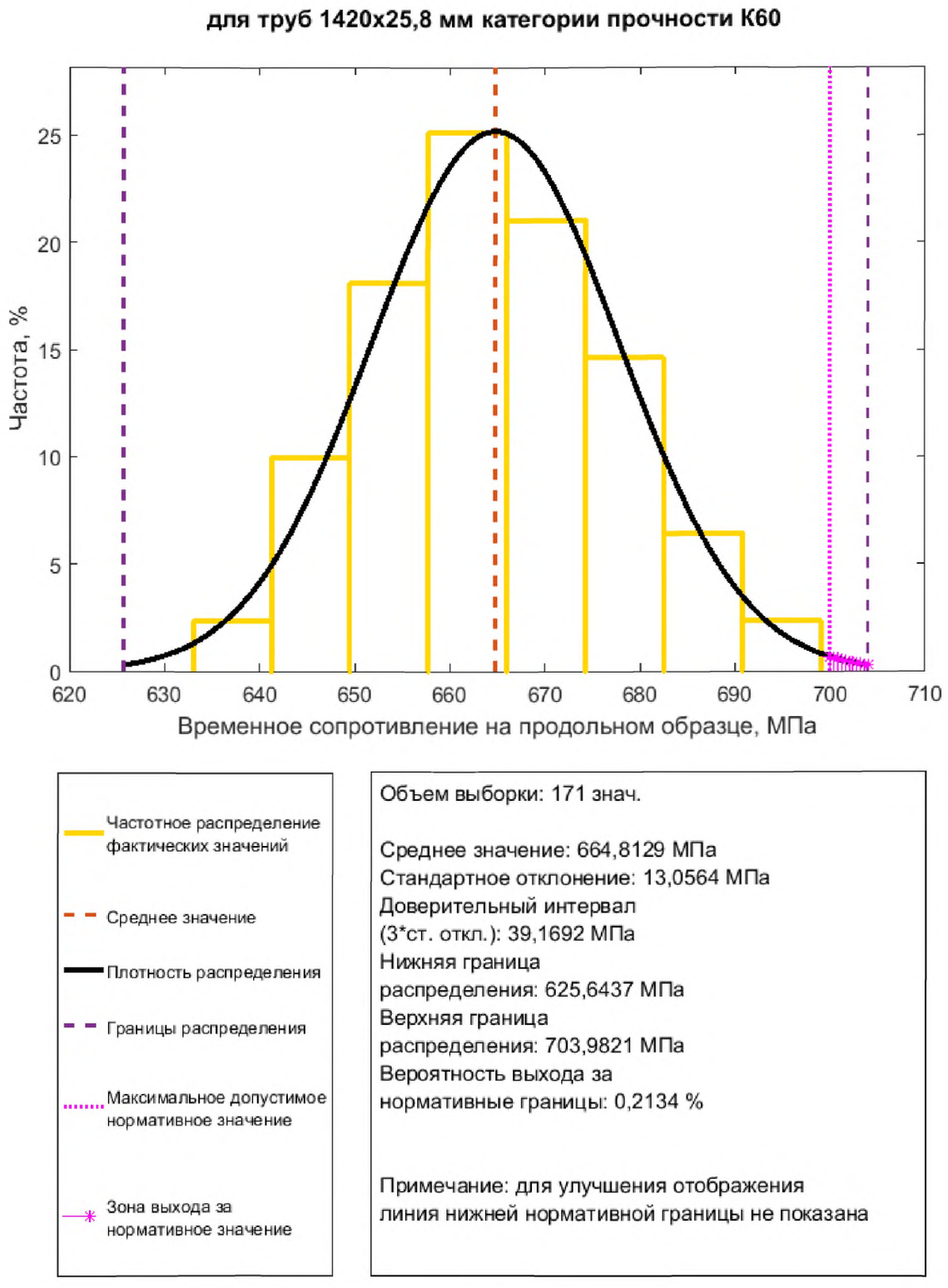

для труб 1420х25,8 мм категории прочности К60
Частота, %
0
5
10
15
20
25
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
Временное сопротивление на продольном образце, МПа
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Максимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 171 знач.
Среднее значение: 664,8129 МПа
Стандартное отклонение: 13,0564 МПа
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 39,1692 МПа
Нижняя граница распределения: 625,6437 МПа
Верхняя граница распределения: 703,9821 МПа
Вероятность выхода за нормативные границы: 0,2134 %
Примечание: для улучшения отображения линия нижней нормативной границы не показана

Рисунок Б.1.8

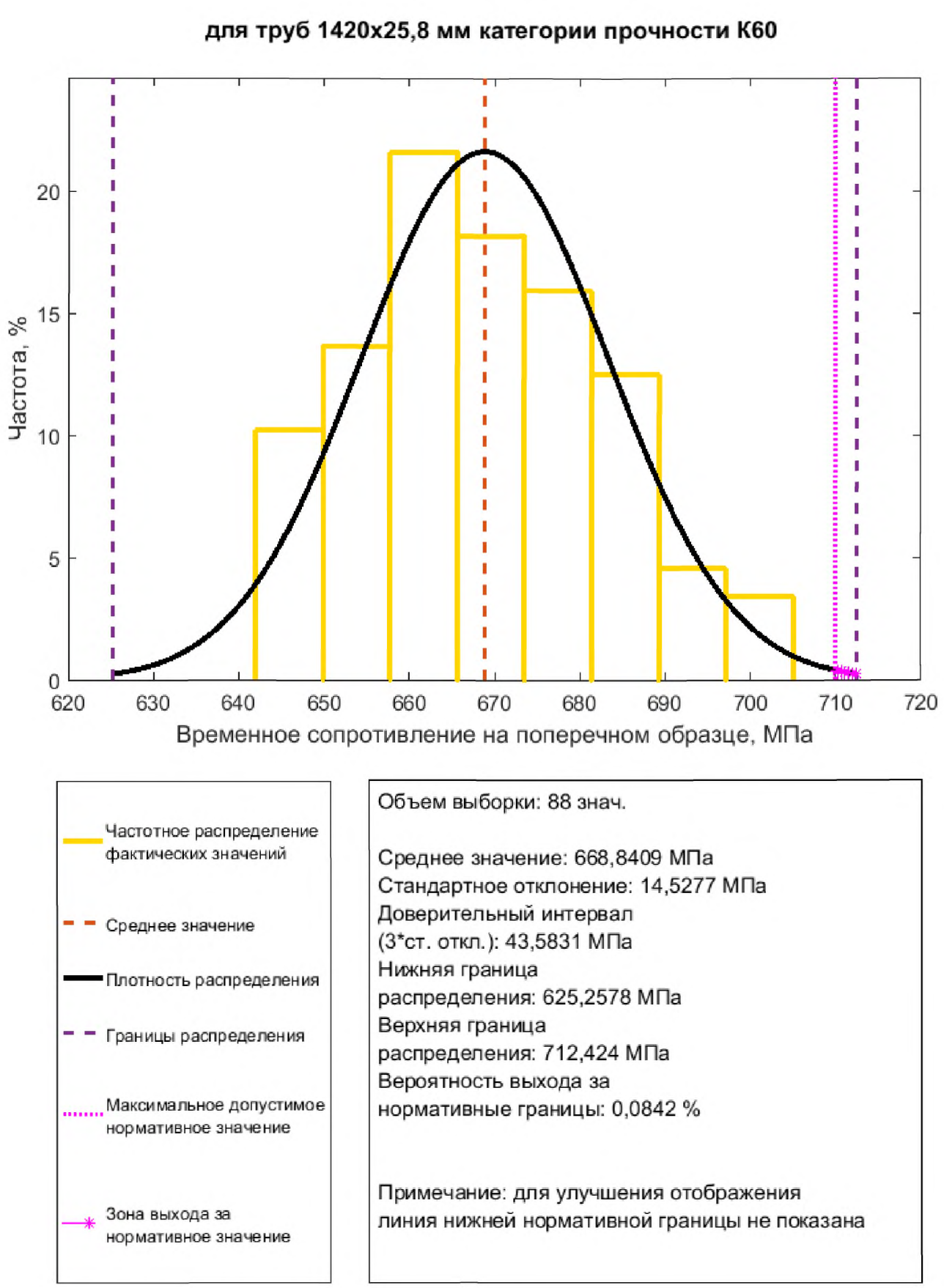

для труб 1420х25,8 мм категории прочности К60
Частота, %
0
5
10
15
20
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
Временное сопротивление на поперечном образце, МПа
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Максимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 88 знач.
Среднее значение: 668,8409 МПа
Стандартное отклонение: 14,5277 МПа
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 43,5831 МПа
Нижняя граница распределения: 625,2578 МПа
Верхняя граница распределения: 712,424 МПа
Вероятность выхода за нормативные границы: 0,0842 %
Примечание: для улучшения отображения линия нижней нормативной границы не показана

Рисунок Б.1.9

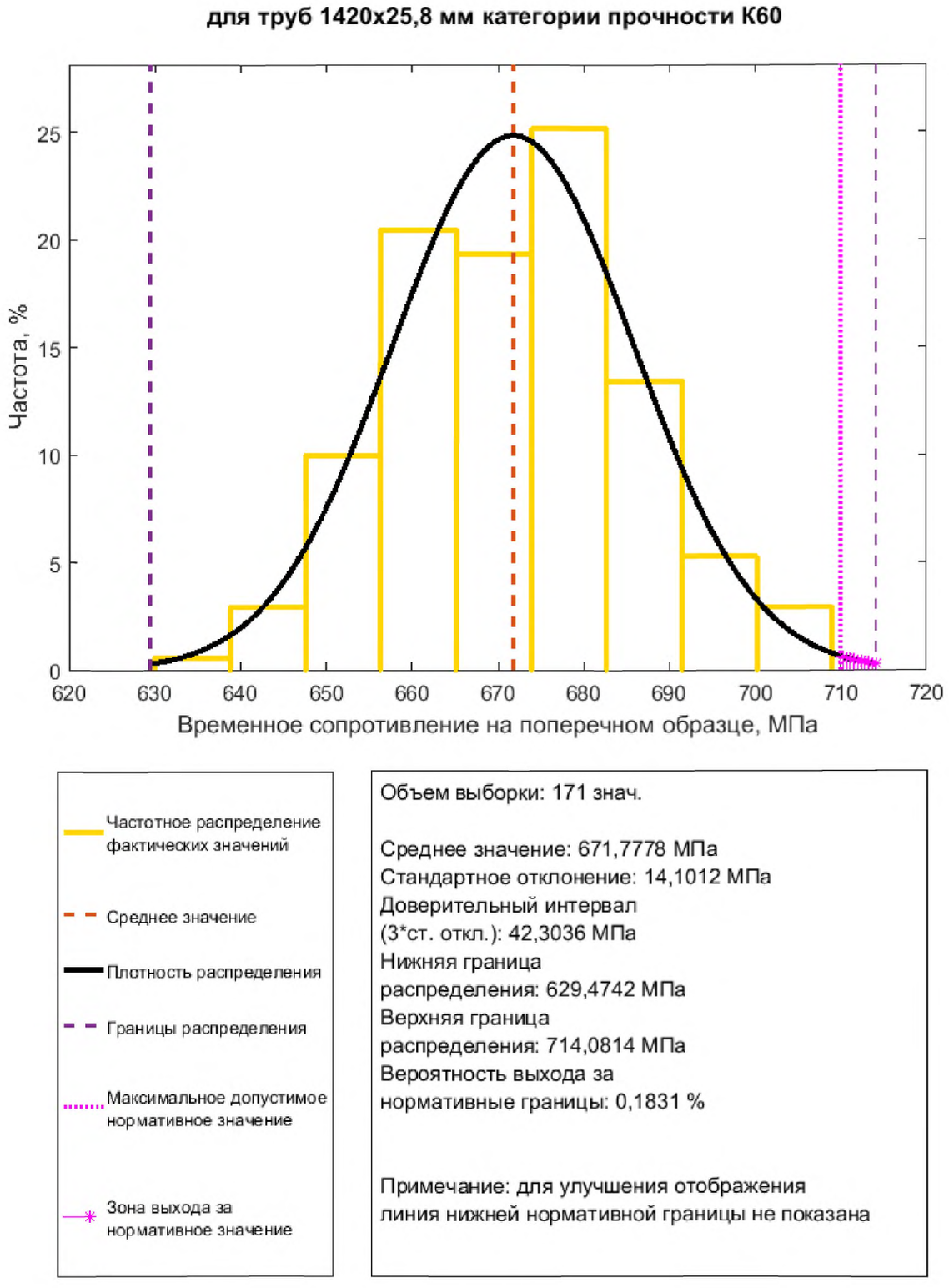


Рисунок Б.1.10

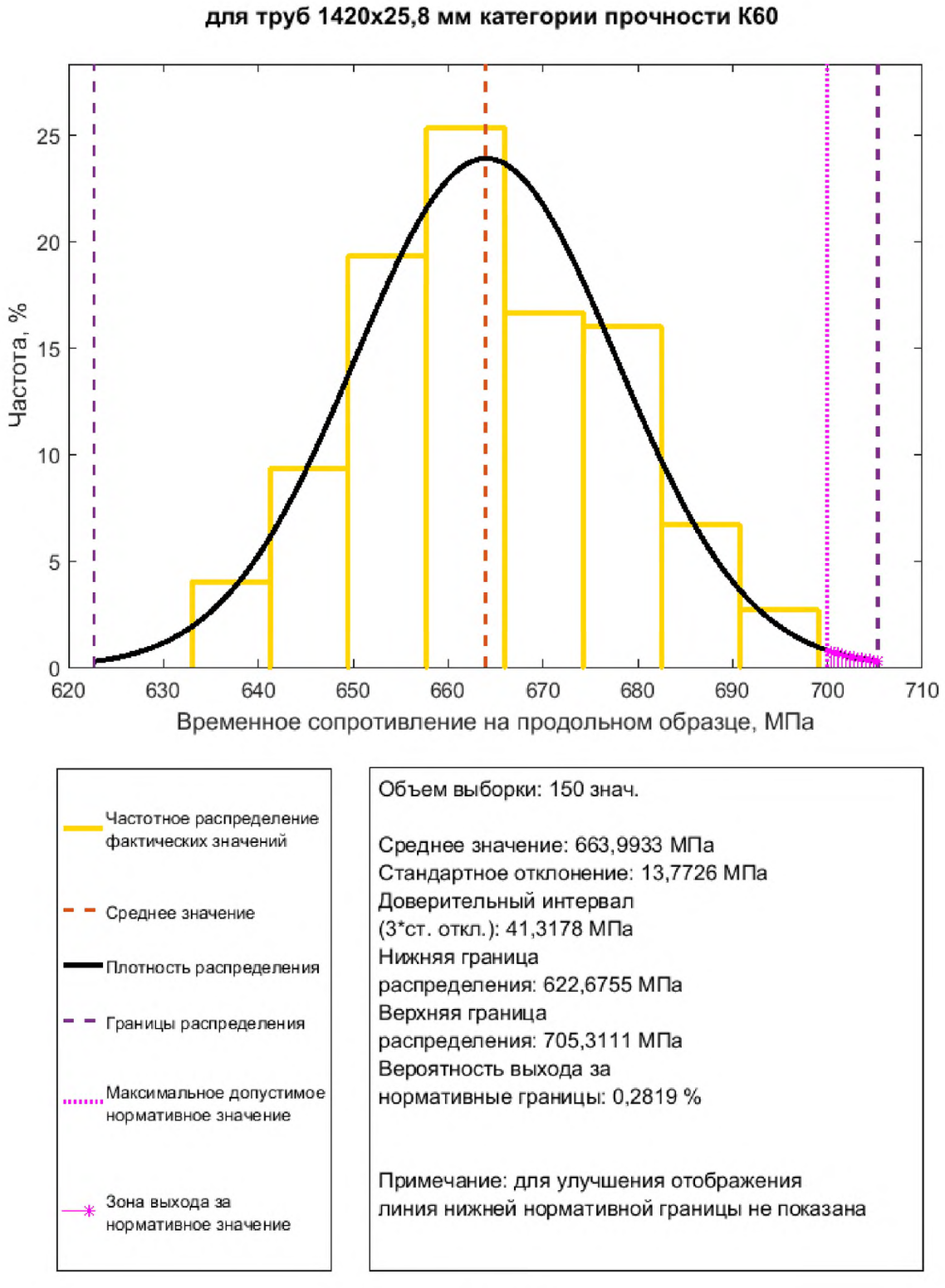


Рисунок Б.1.11

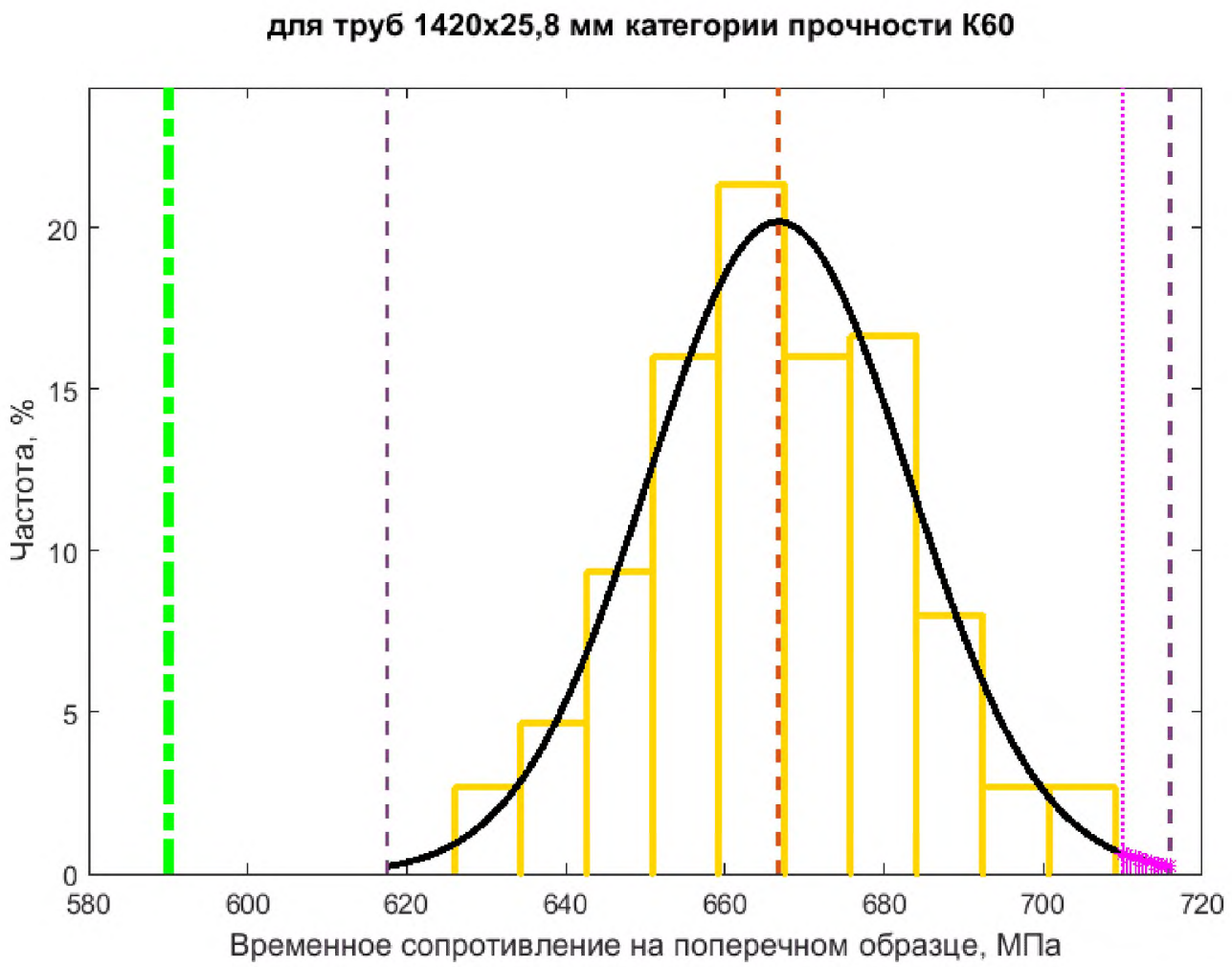


Рисунок Б.1.12

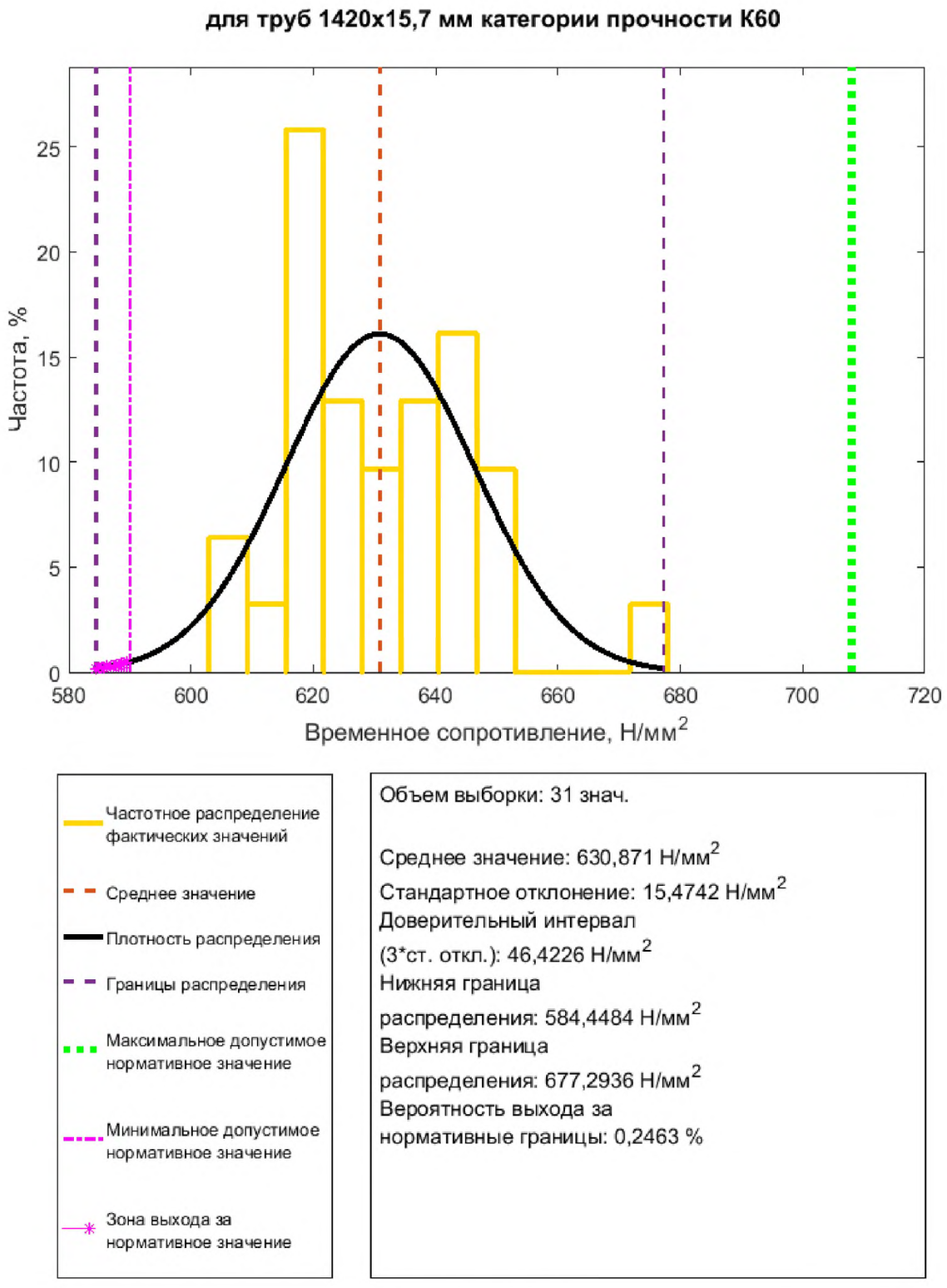


Рисунок Б.1.13

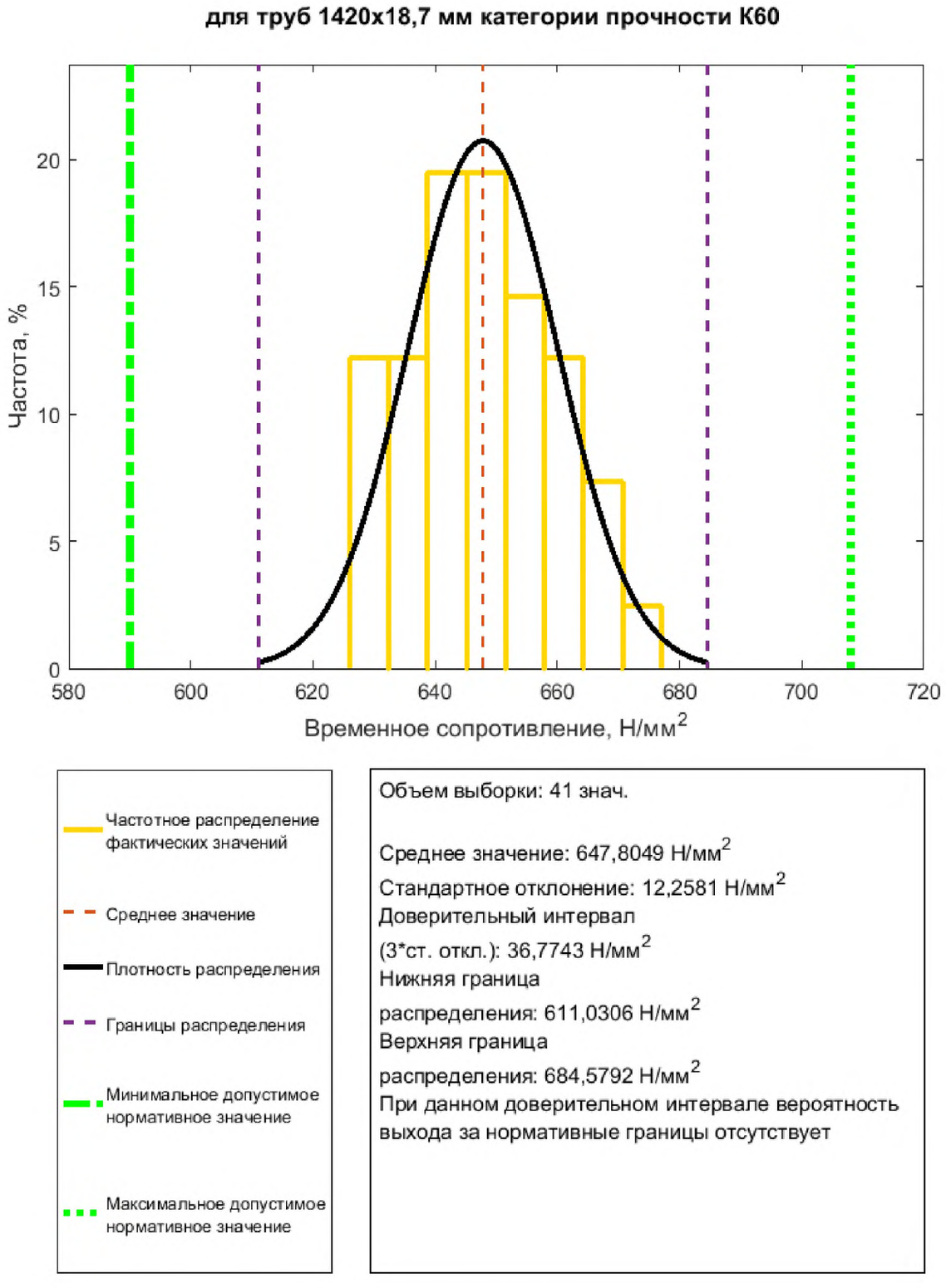


Рисунок Б.1.14

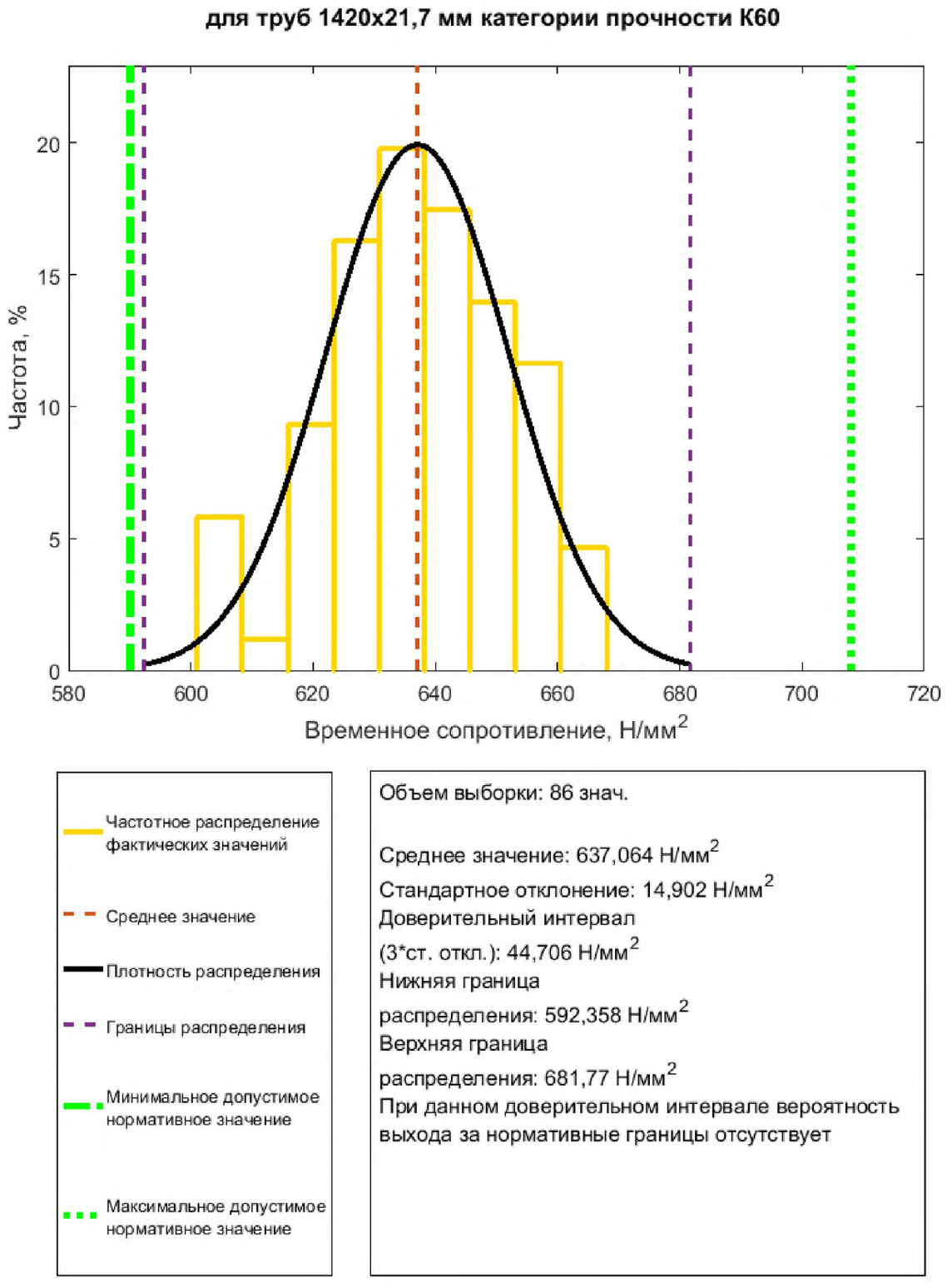


Рисунок Б.1.15

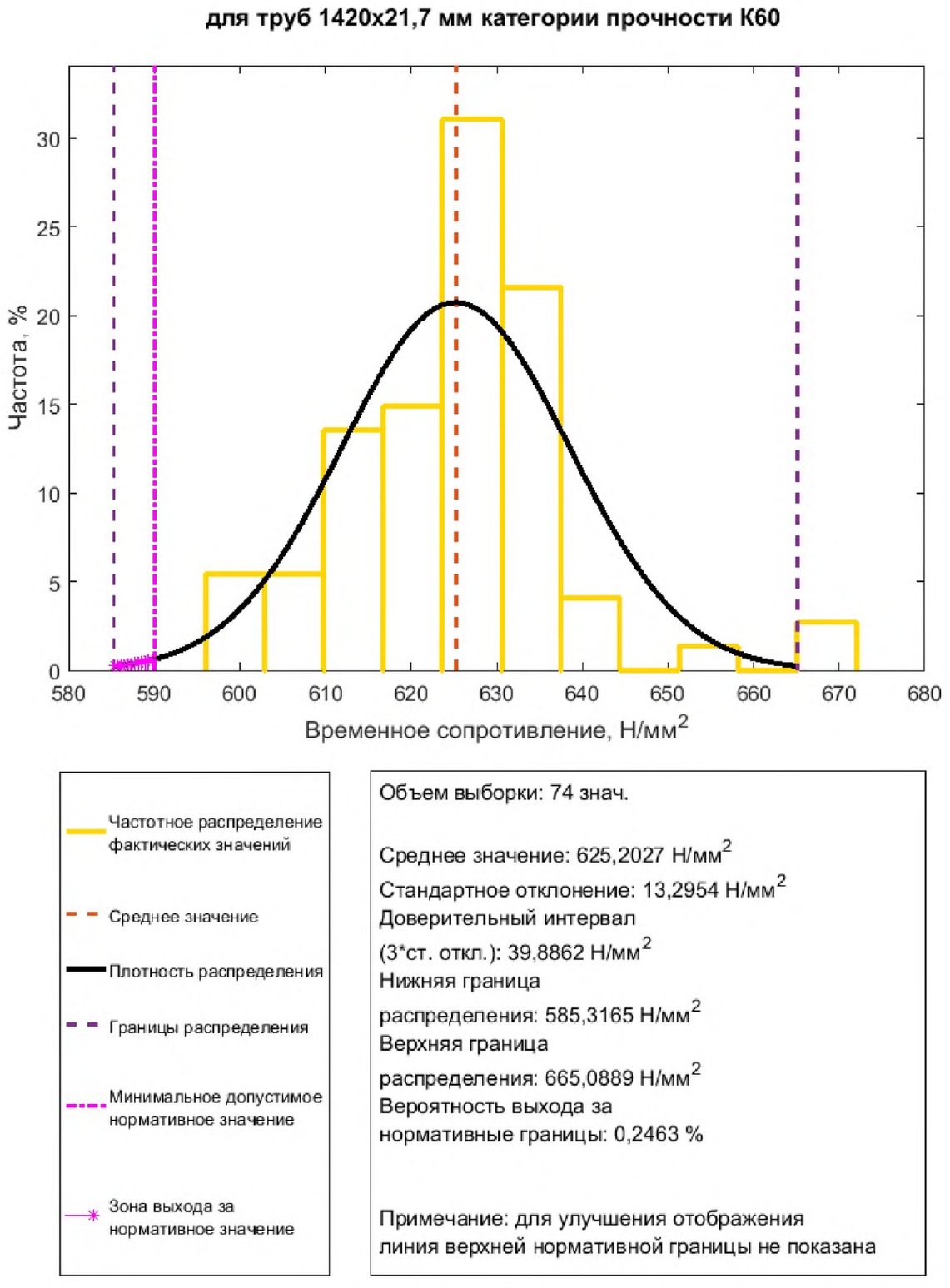


Рисунок Б.1.16

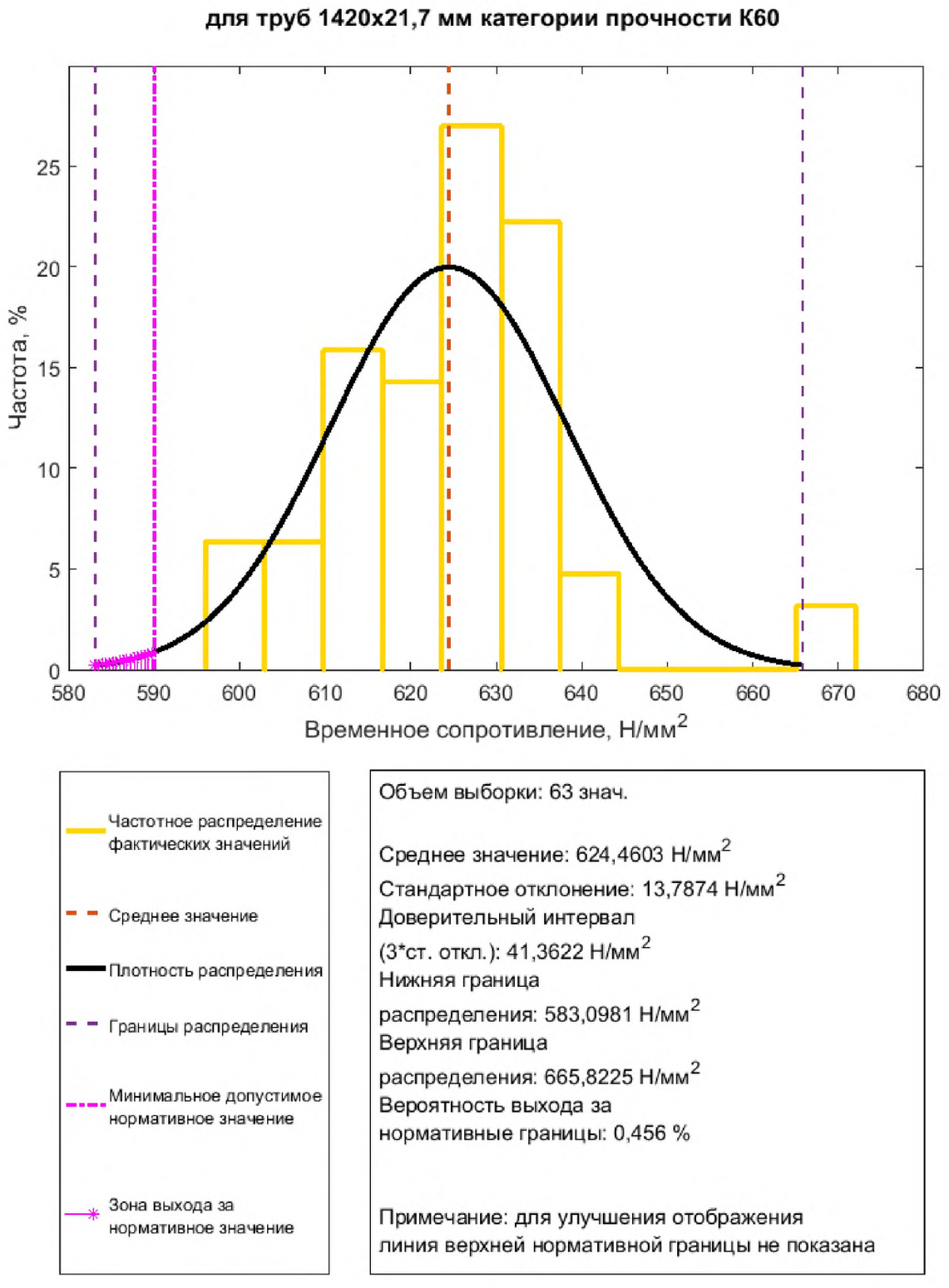


Рисунок Б.1.17

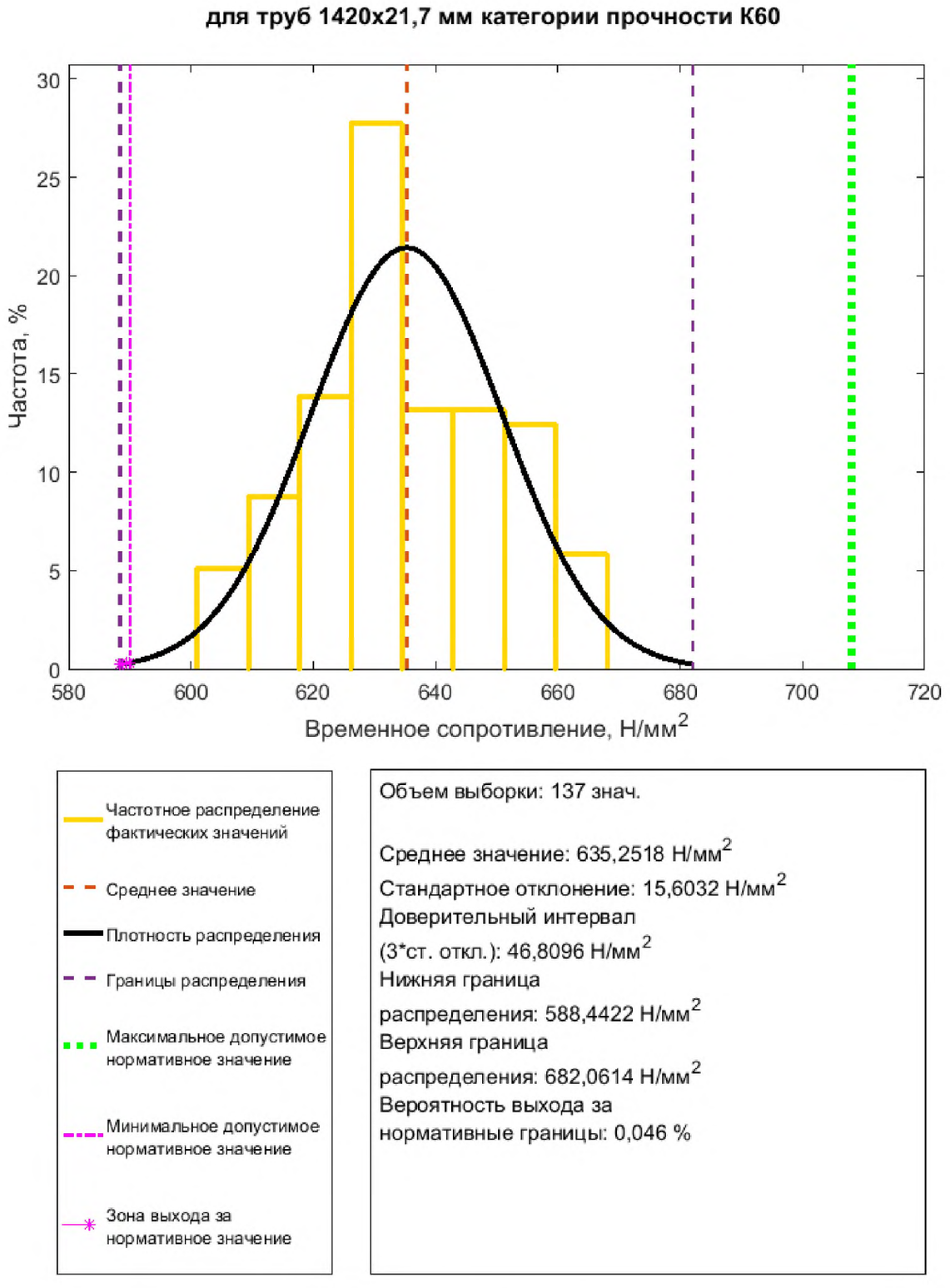


Рисунок Б.1.18

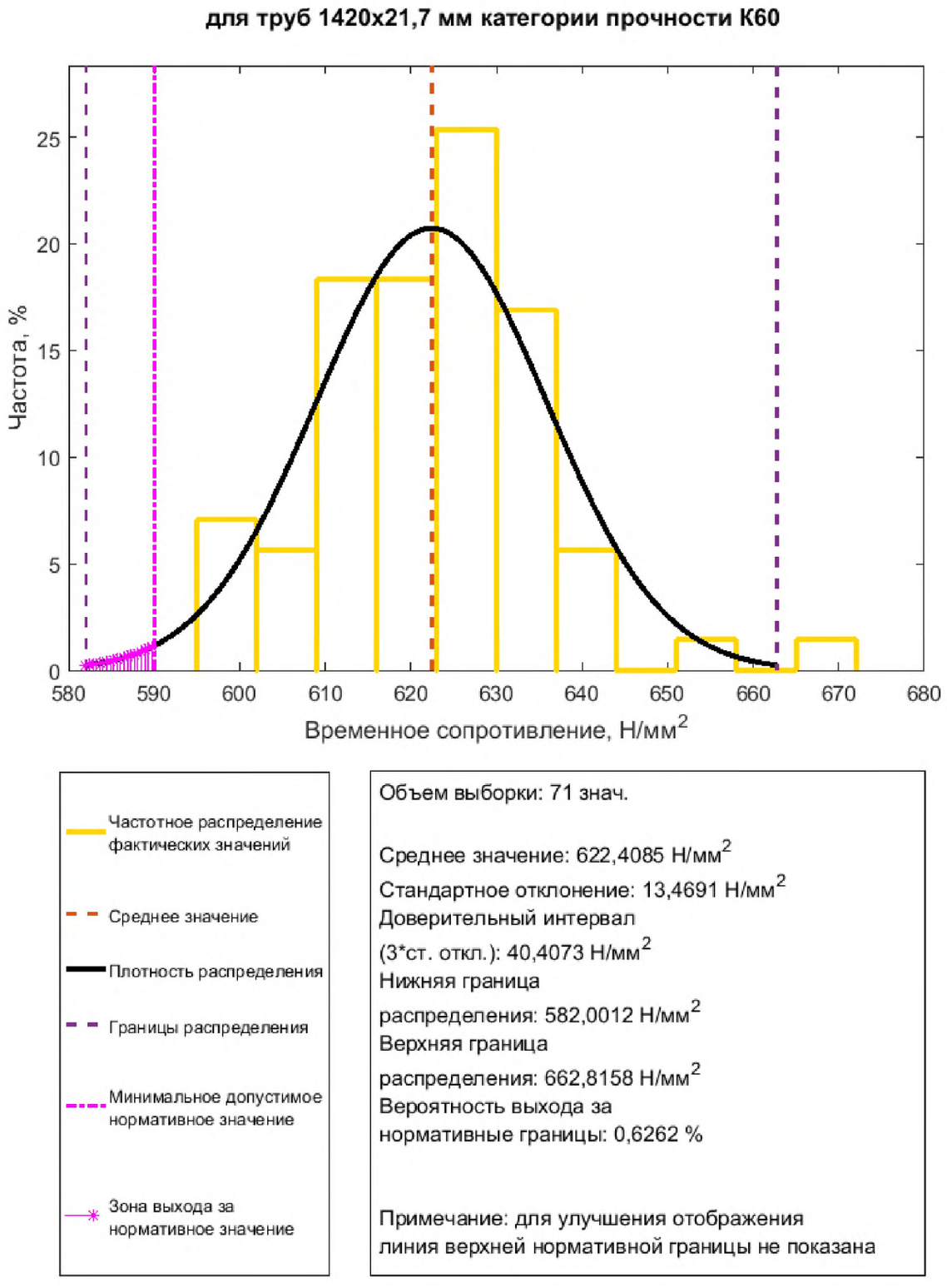


Рисунок Б.1.19

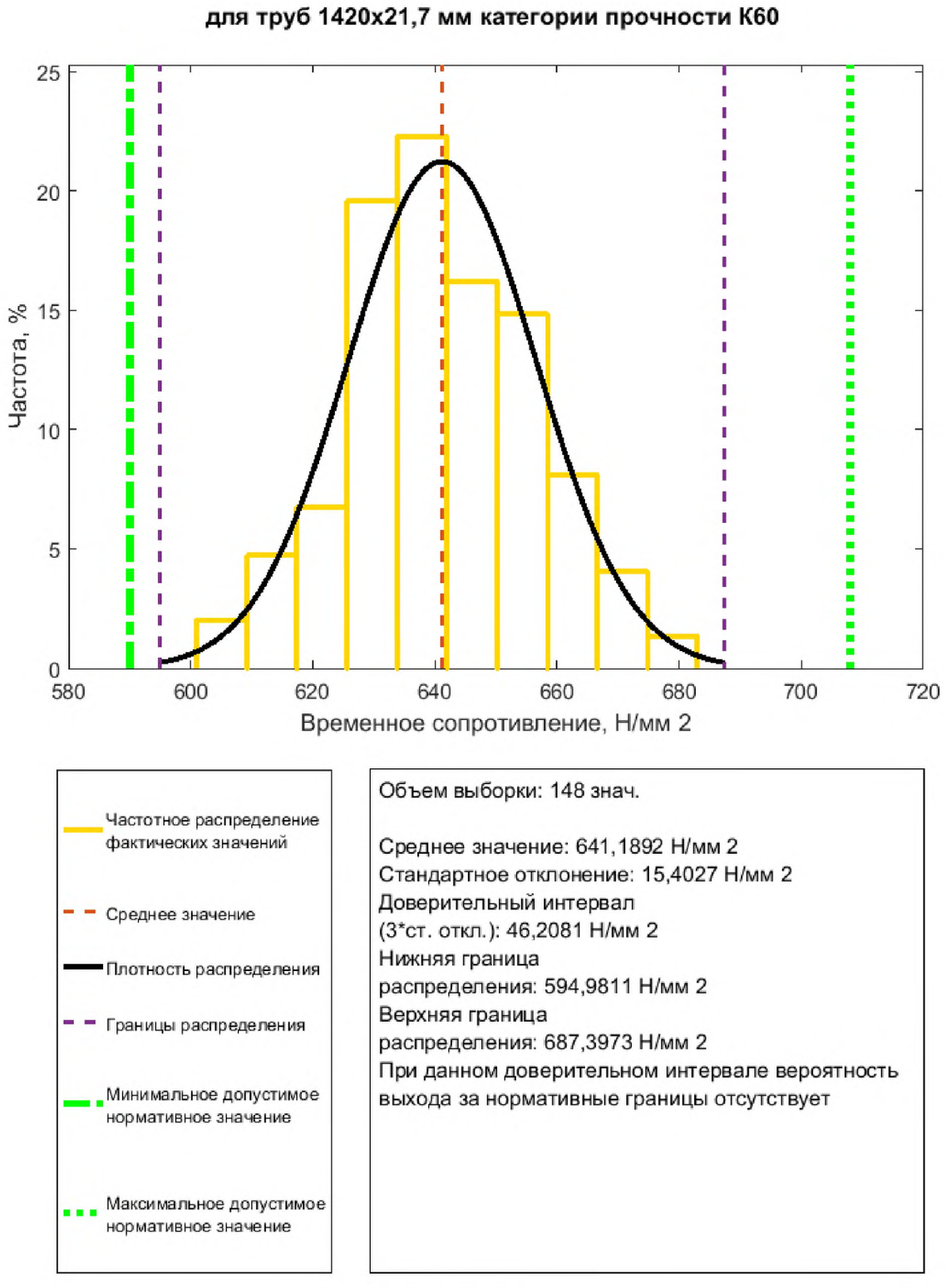


Рисунок Б.1.20

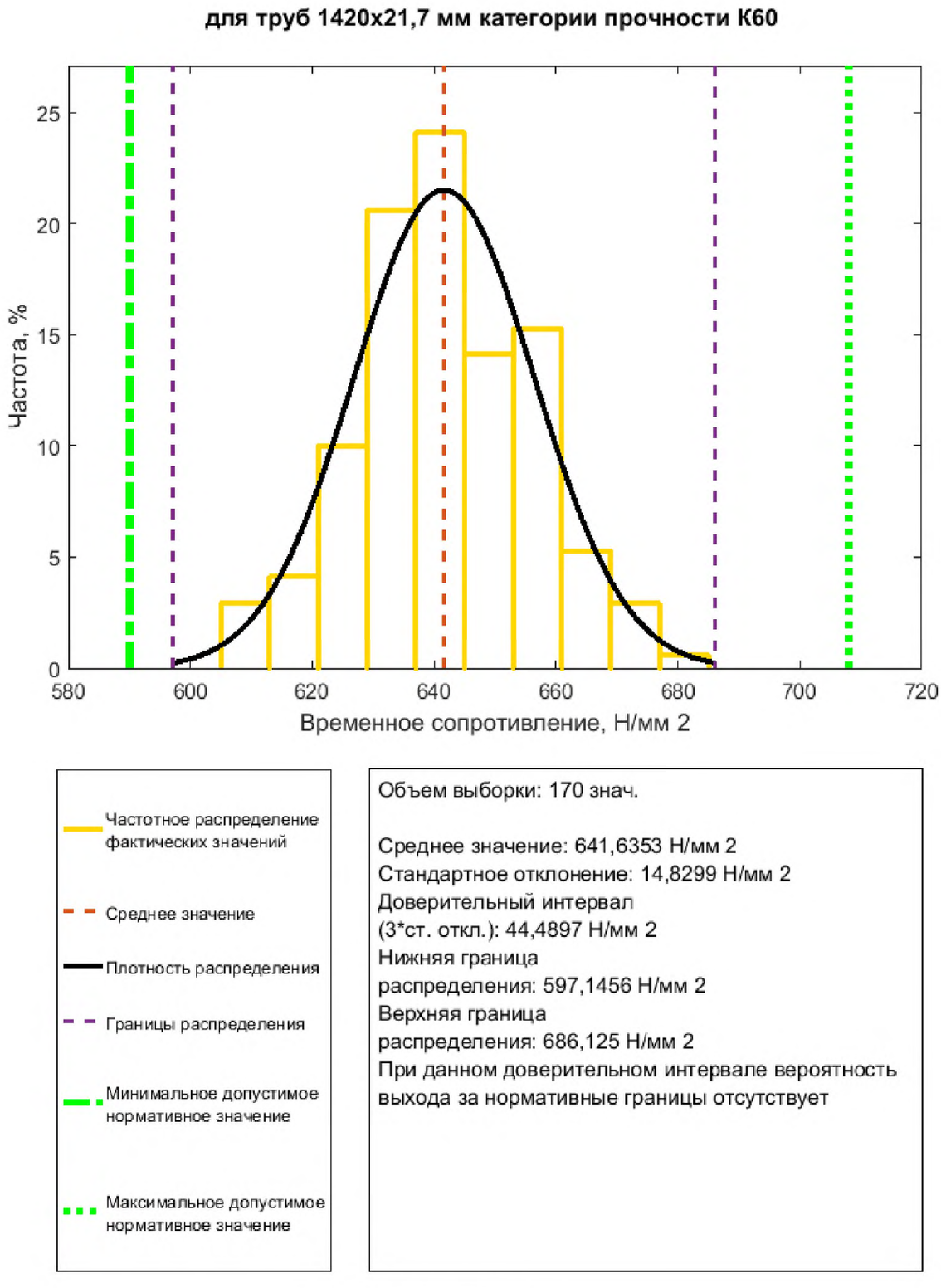


Рисунок Б.1.21

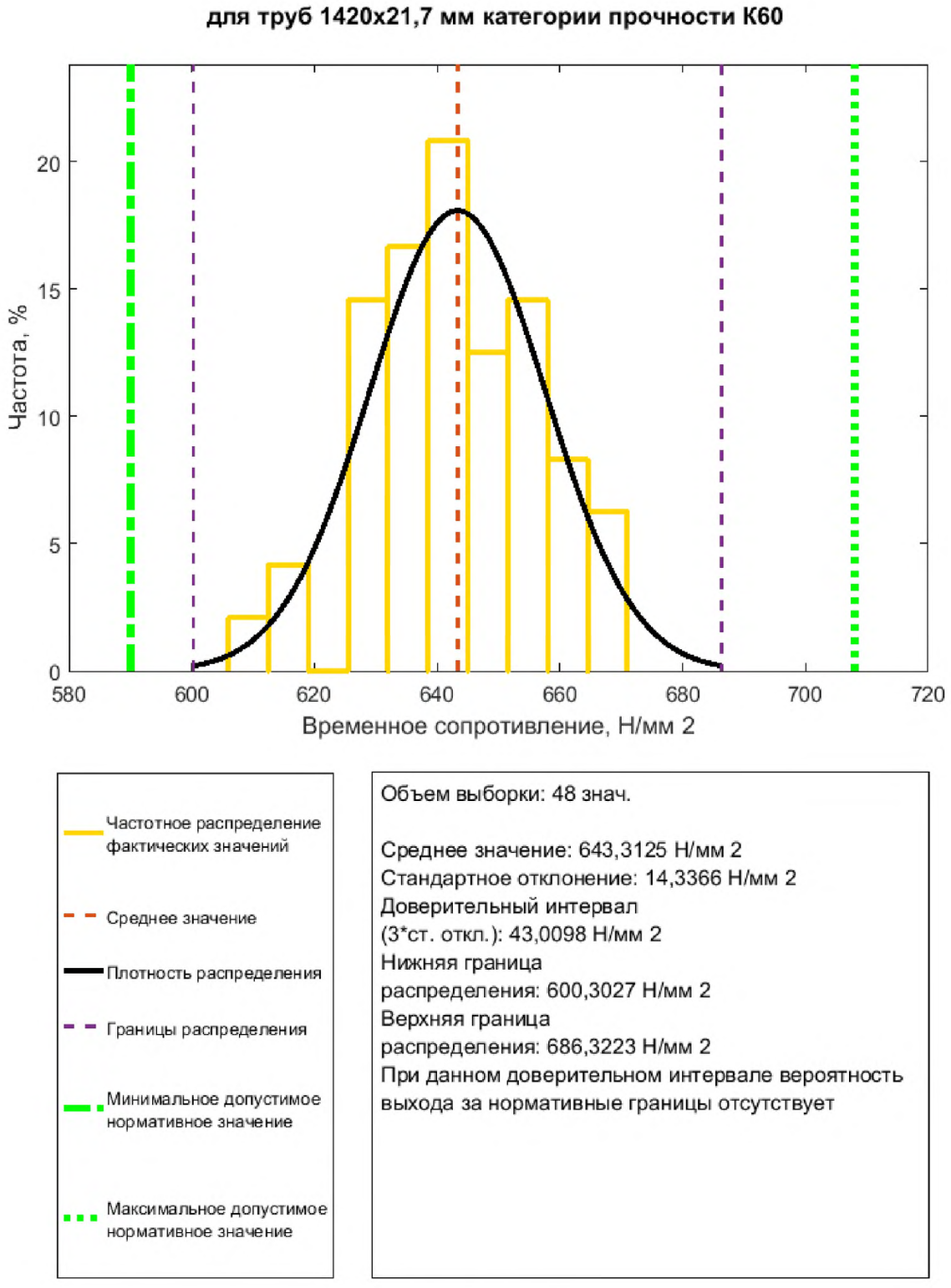


Рисунок Б.1.22

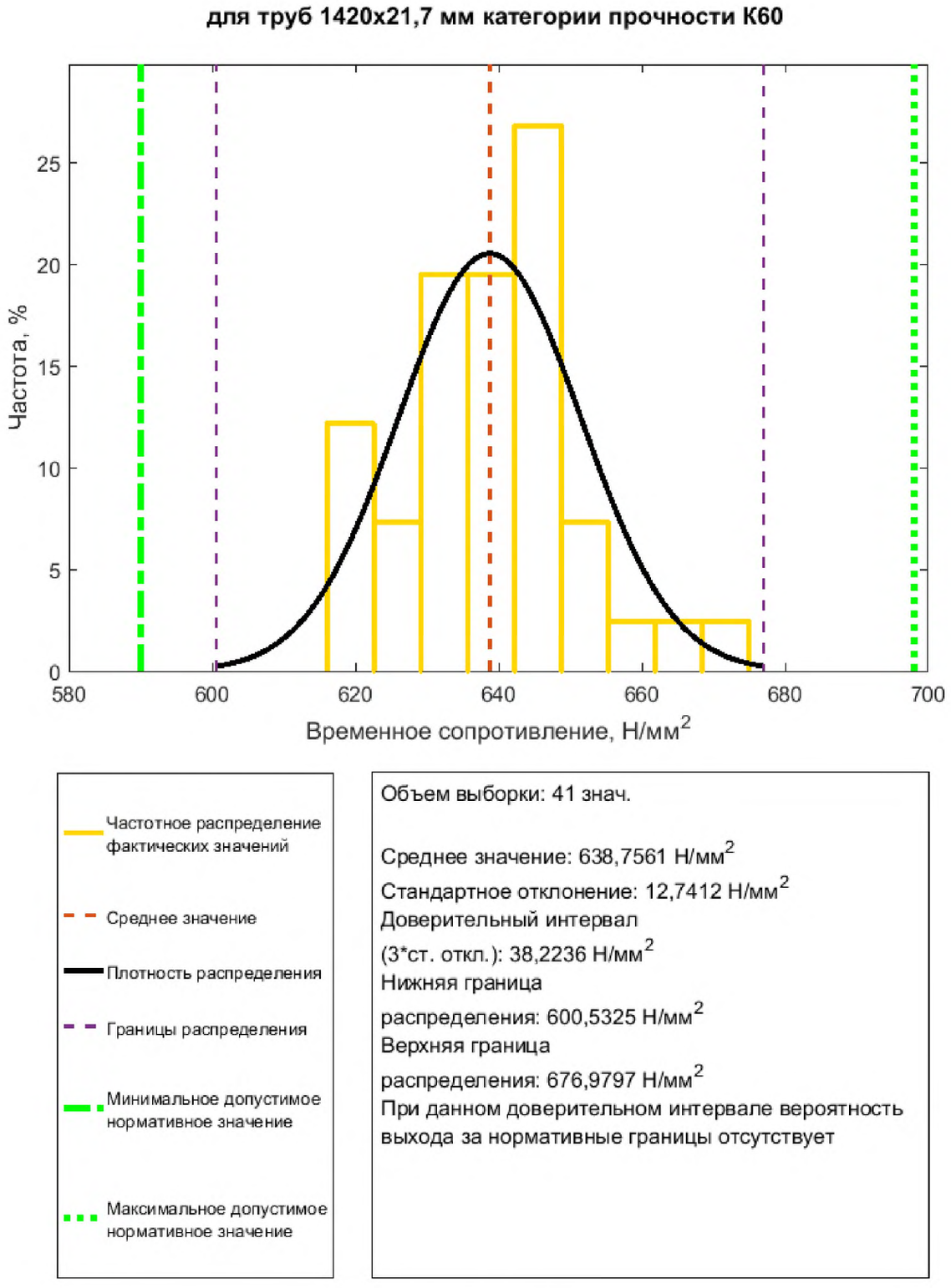


Рисунок Б.1.23

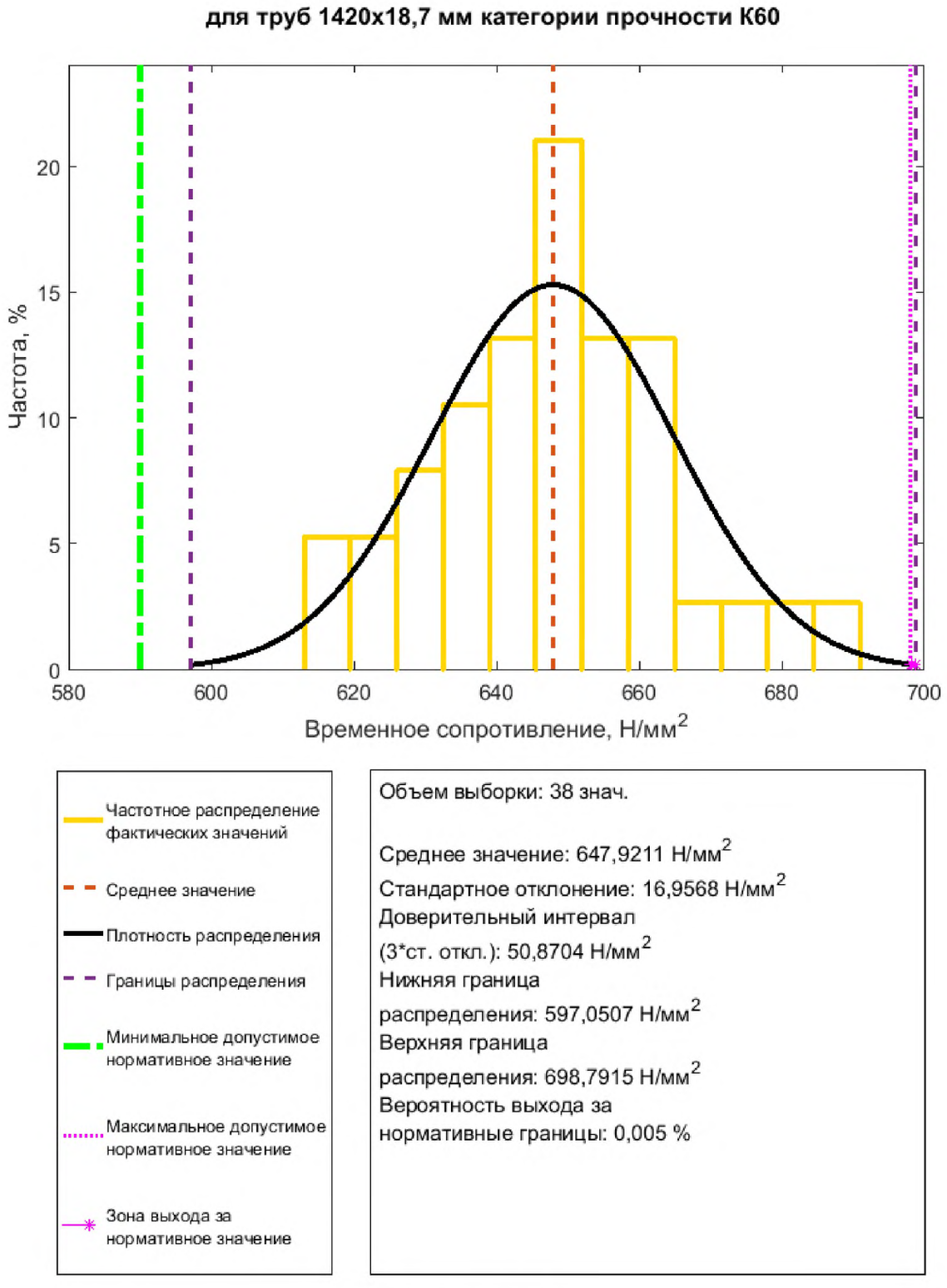


Рисунок Б.1.24

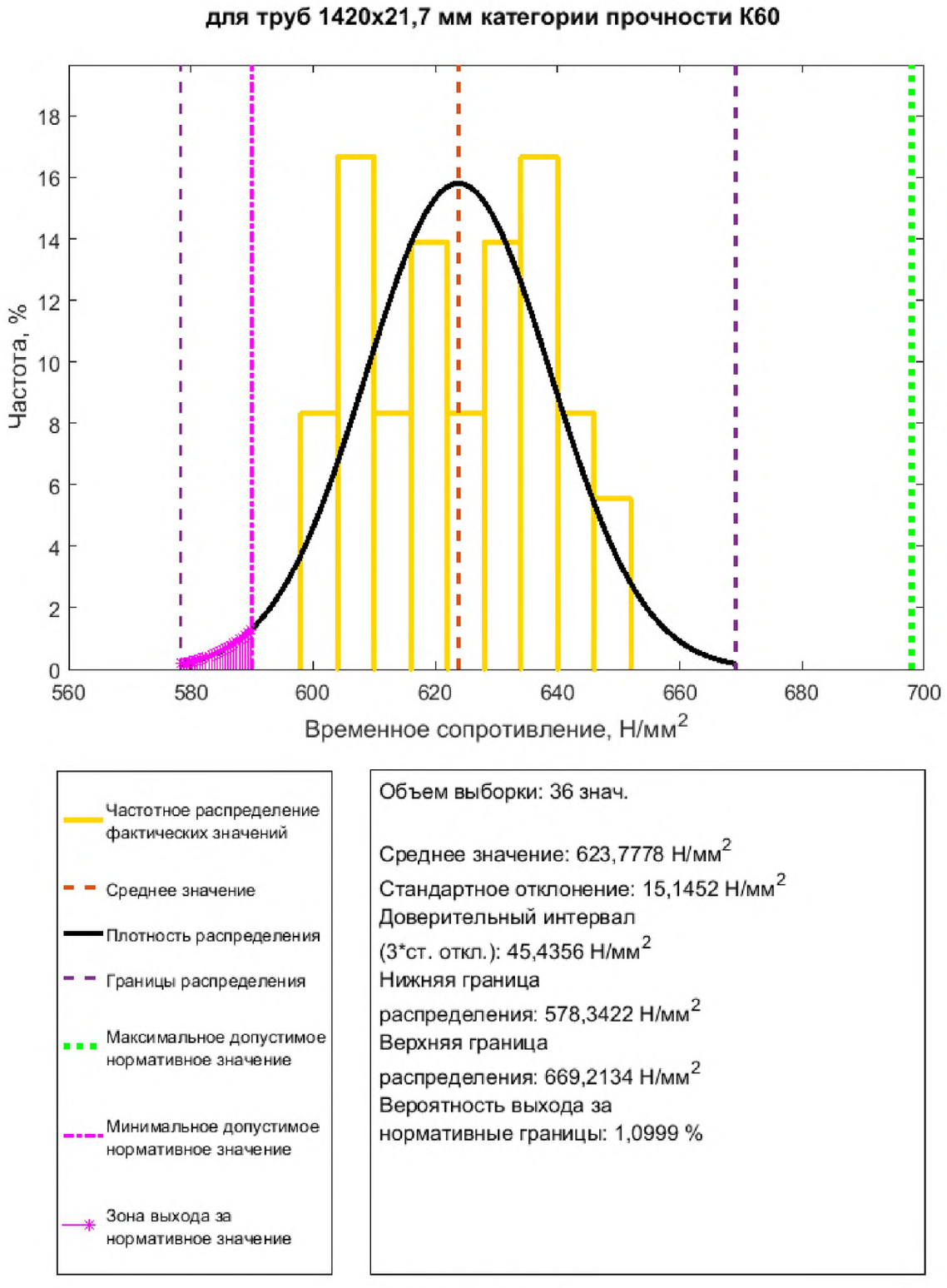


Рисунок Б.1.25

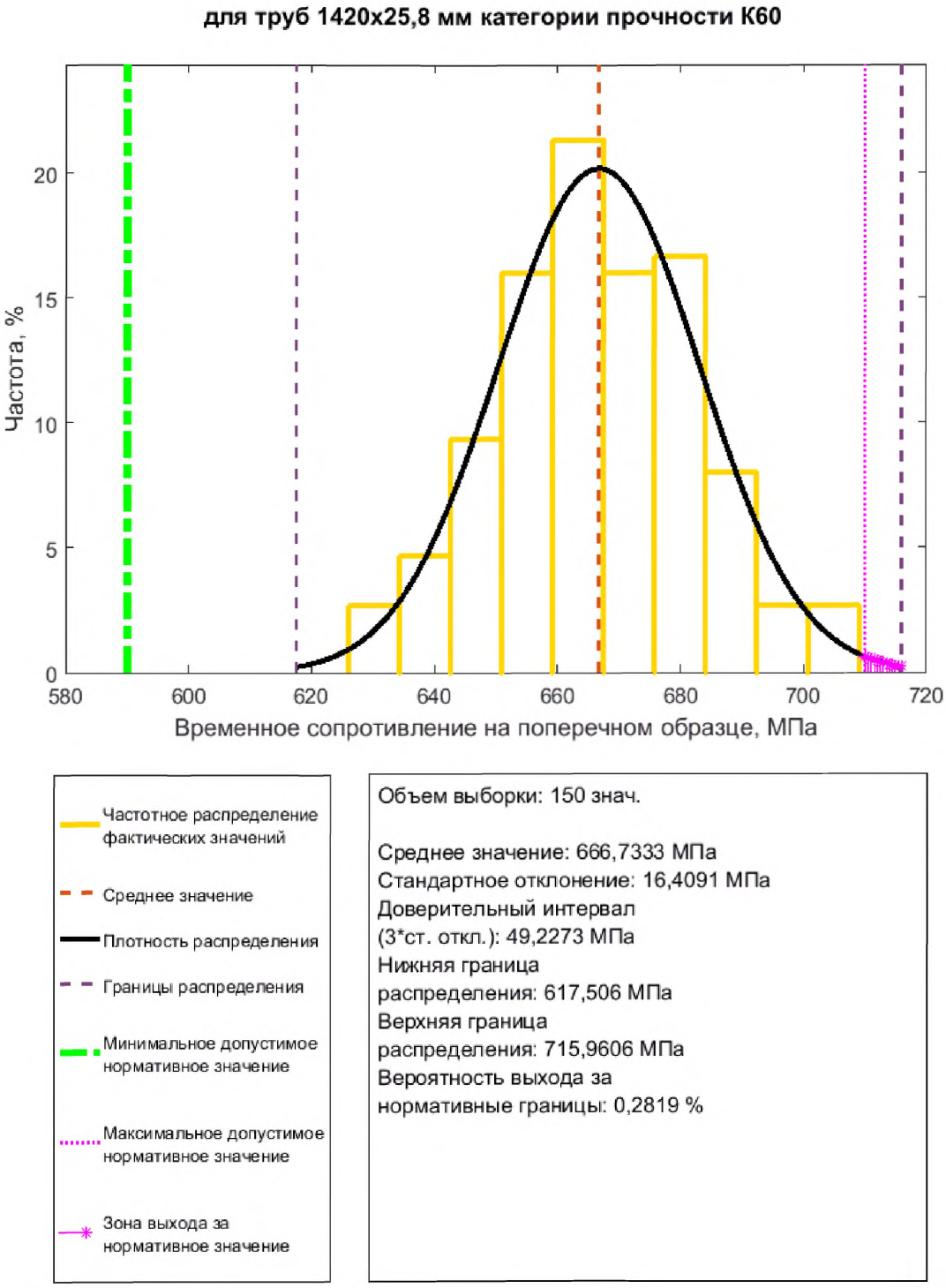


Рисунок Б.1.26

Примеры статитстических характеристик трубной продукции по пределу текучести представлены на рисунке Б.2:

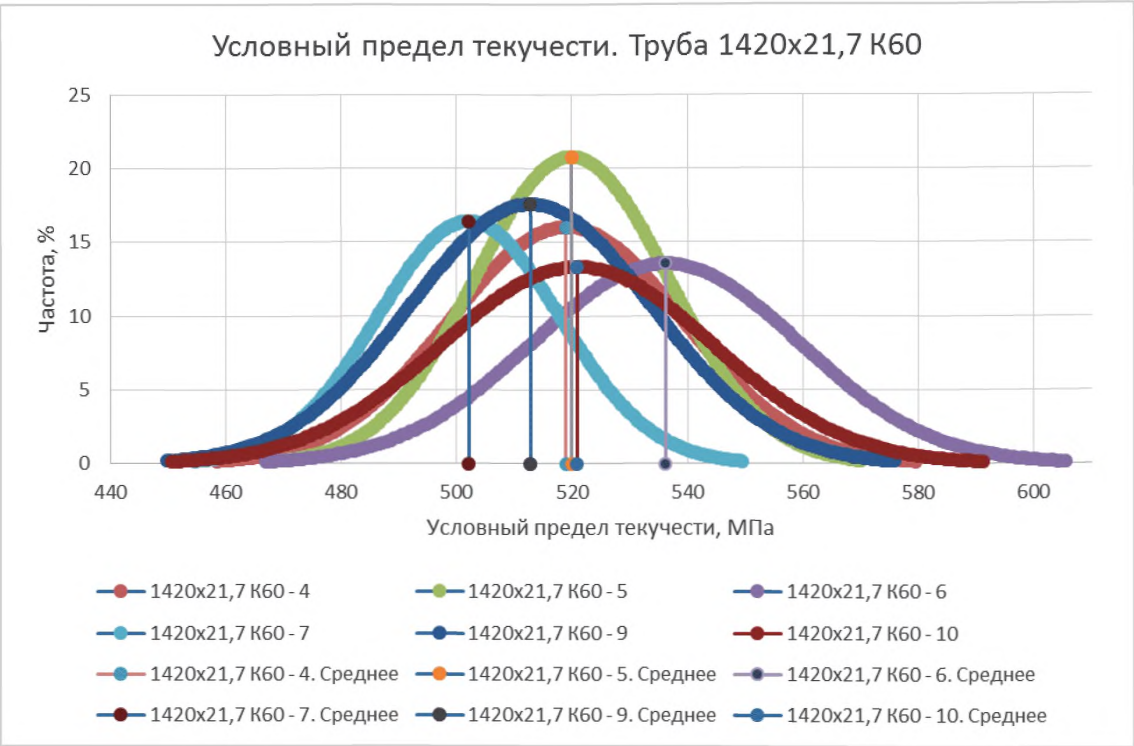


Рисунок Б.2 – Сводный график распределения показателей условного предела текучести для разных партий и заказов

Ниже представлены подробные кривые распределения условного предела текучести для отдельных партий и заказов (рисунки Б.2.1-Б.2.18).

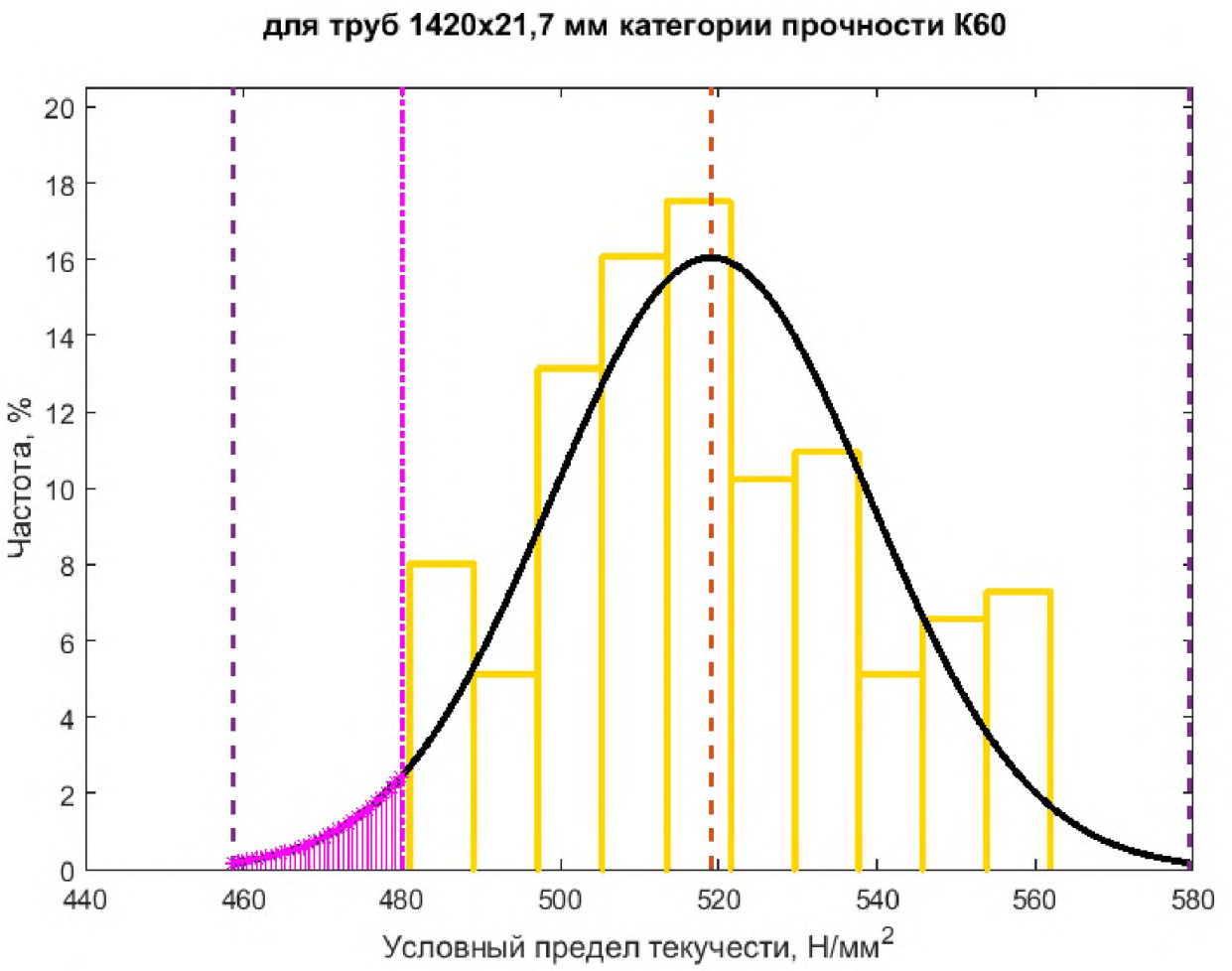

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Условный предел текучести, Н/мм2
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 137 знач.
Среднее значение: 519,0073 Н/мм2
Стандартное отклонение: 20,1406 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 60,4218 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 458,5855 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 579,4291 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 2,4562 %

Рисунок Б.2.1

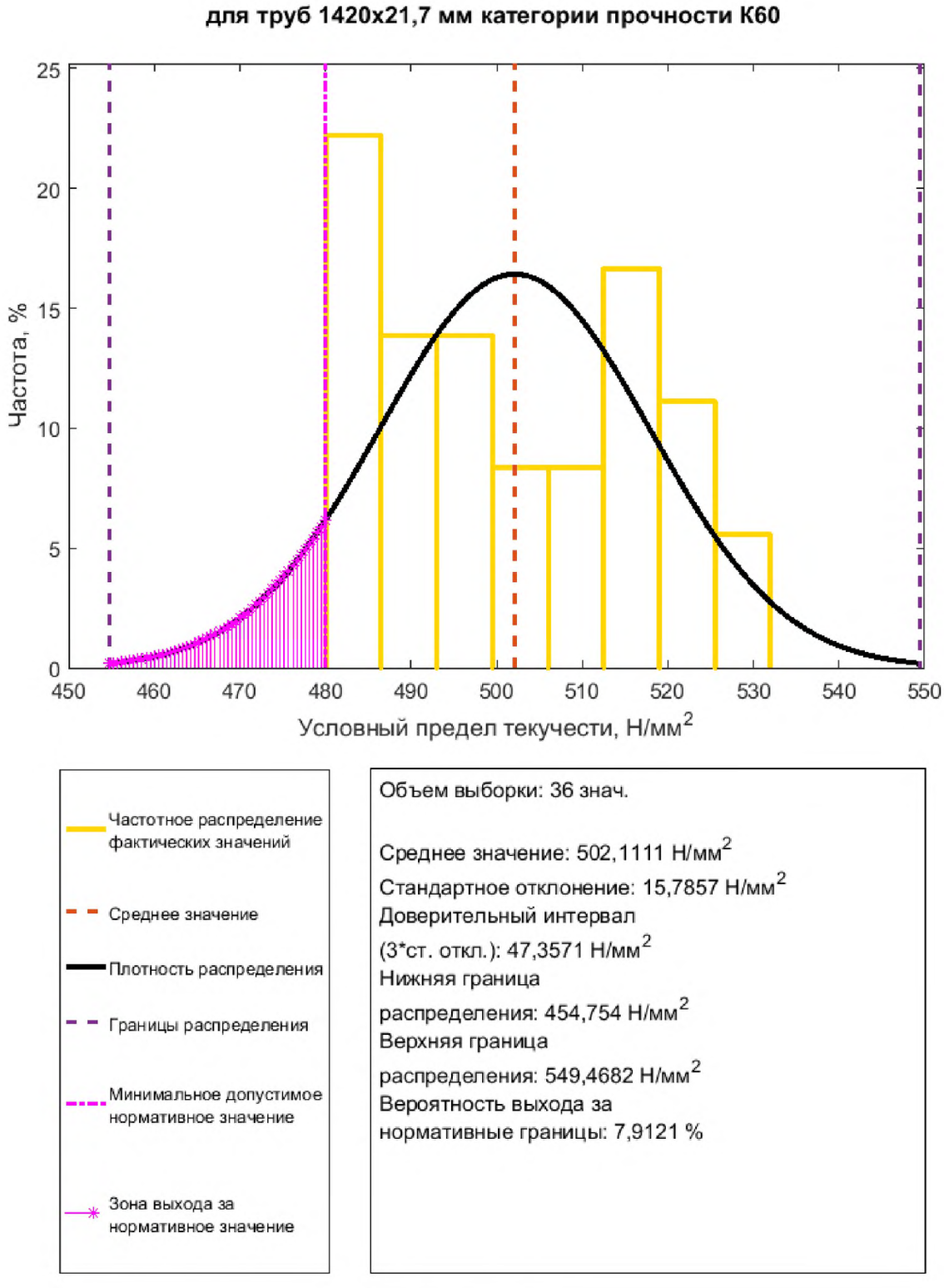

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Условный предел текучести, Н/мм2
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 36 знач.
Среднее значение: 502,1111 Н/мм2
Стандартное отклонение: 15,7857 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 47,3571 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 454,754 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 549,4682 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 7,9121 %

Рисунок Б.2.2

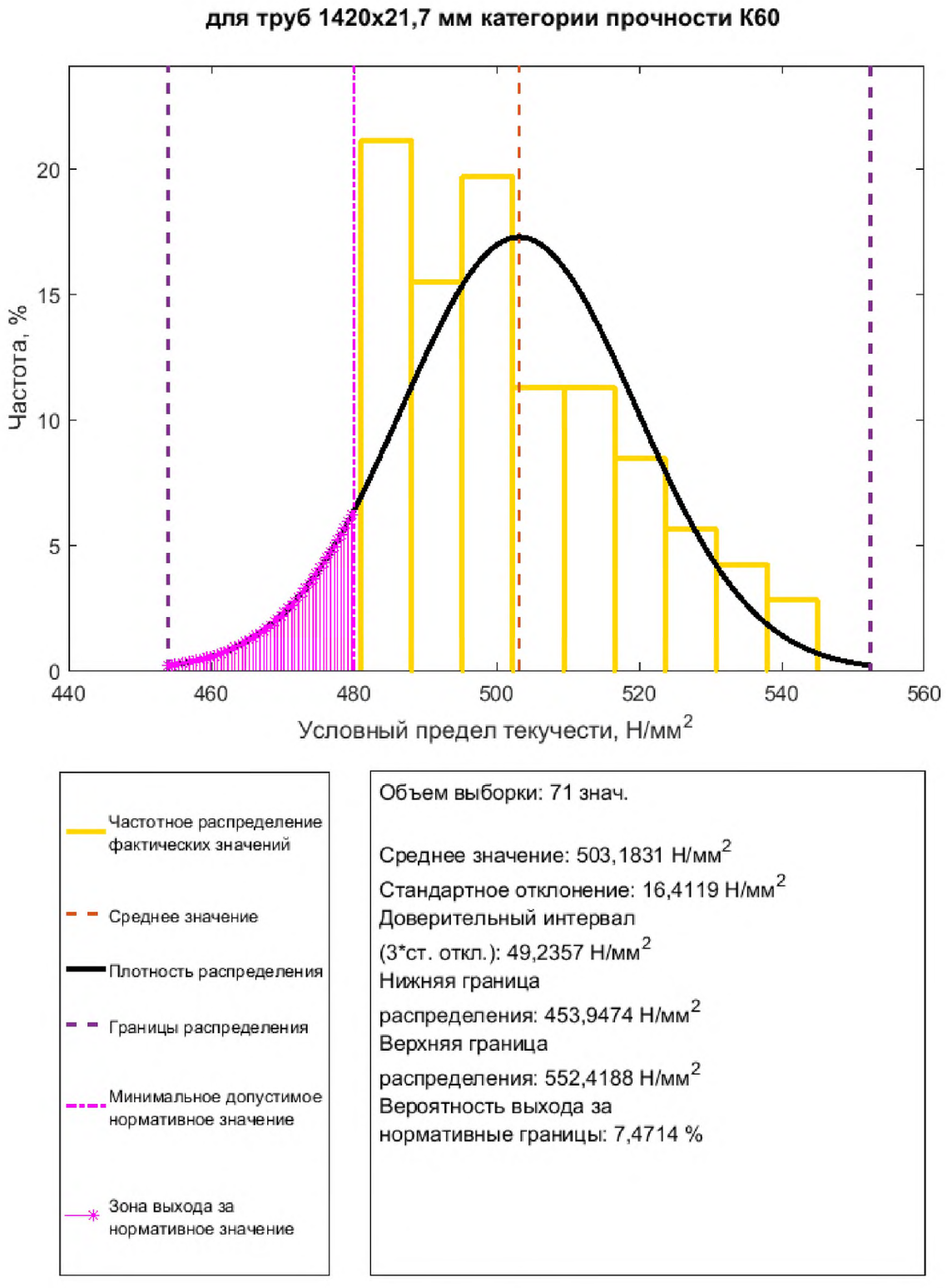

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
0
5
10
15
20
440
460
480
500
520
540
560
Условный предел текучести, Н/мм2
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 71 знач.
Среднее значение: 503,1831 Н/мм2
Стандартное отклонение: 16,4119 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 49,2357 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 453,9474 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 552,4188 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 7,4714 %

Рисунок Б.2.3

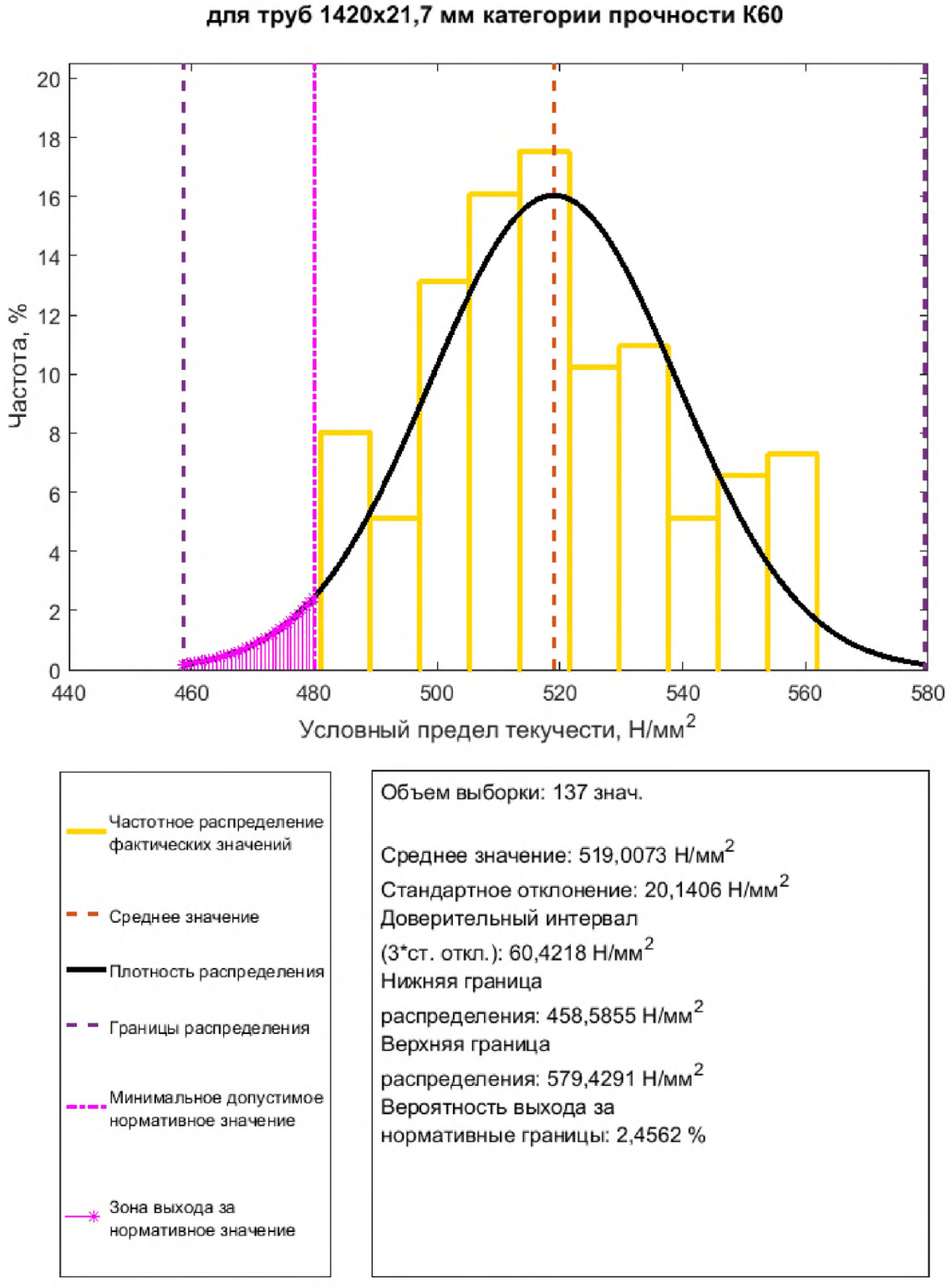

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Условный предел текучести, Н/мм2
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 137 знач.
Среднее значение: 519,0073 Н/мм2
Стандартное отклонение: 20,1406 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 60,4218 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 458,5855 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 579,4291 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 2,4562 %

Рисунок Б.2.4

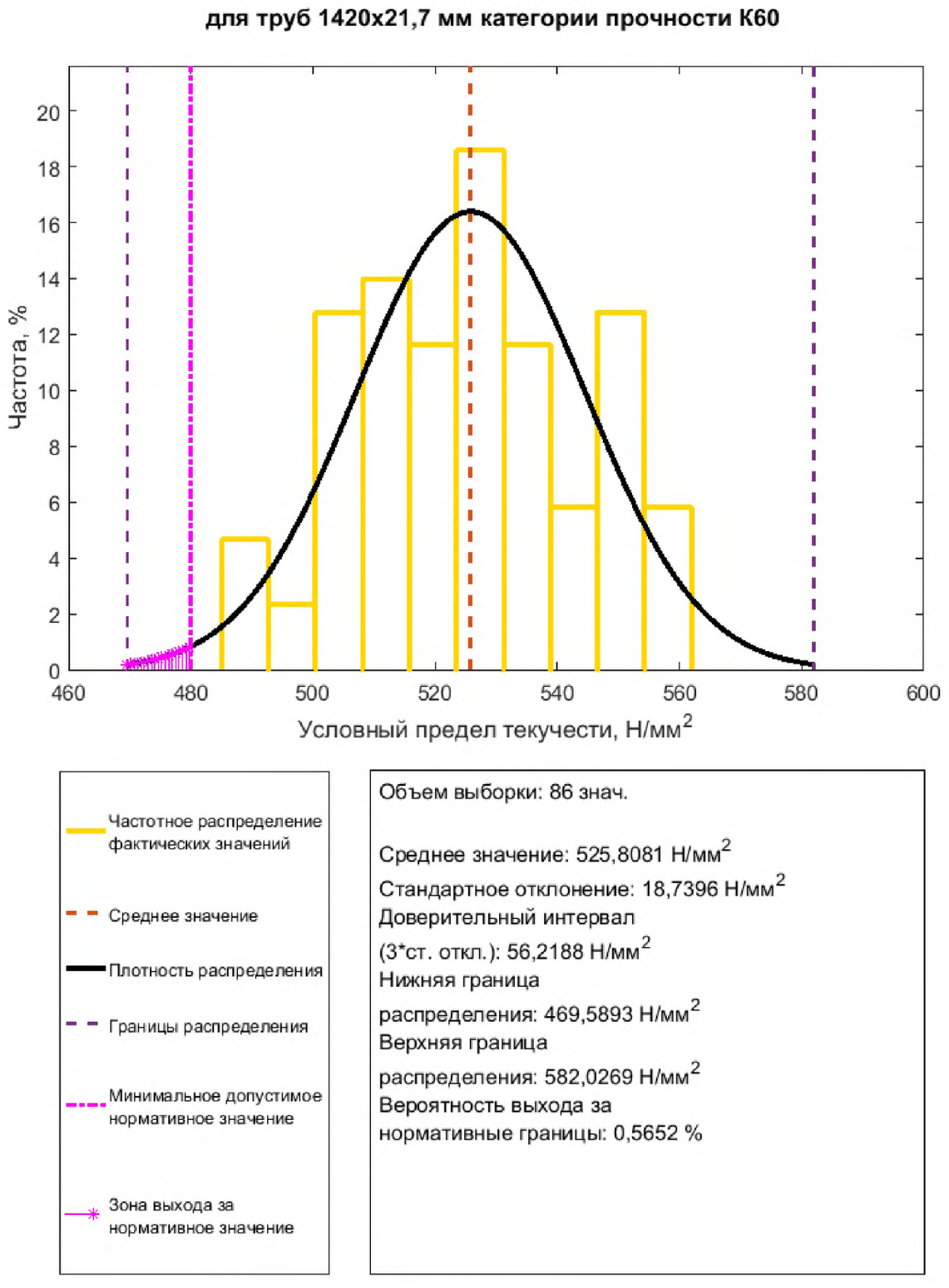

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Условный предел текучести, Н/мм2
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 86 знач.
Среднее значение: 525,8081 Н/мм2
Стандартное отклонение: 18,7396 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 56,2188 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 469,5893 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 582,0269 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 0,5652 %

Рисунок Б.2.5

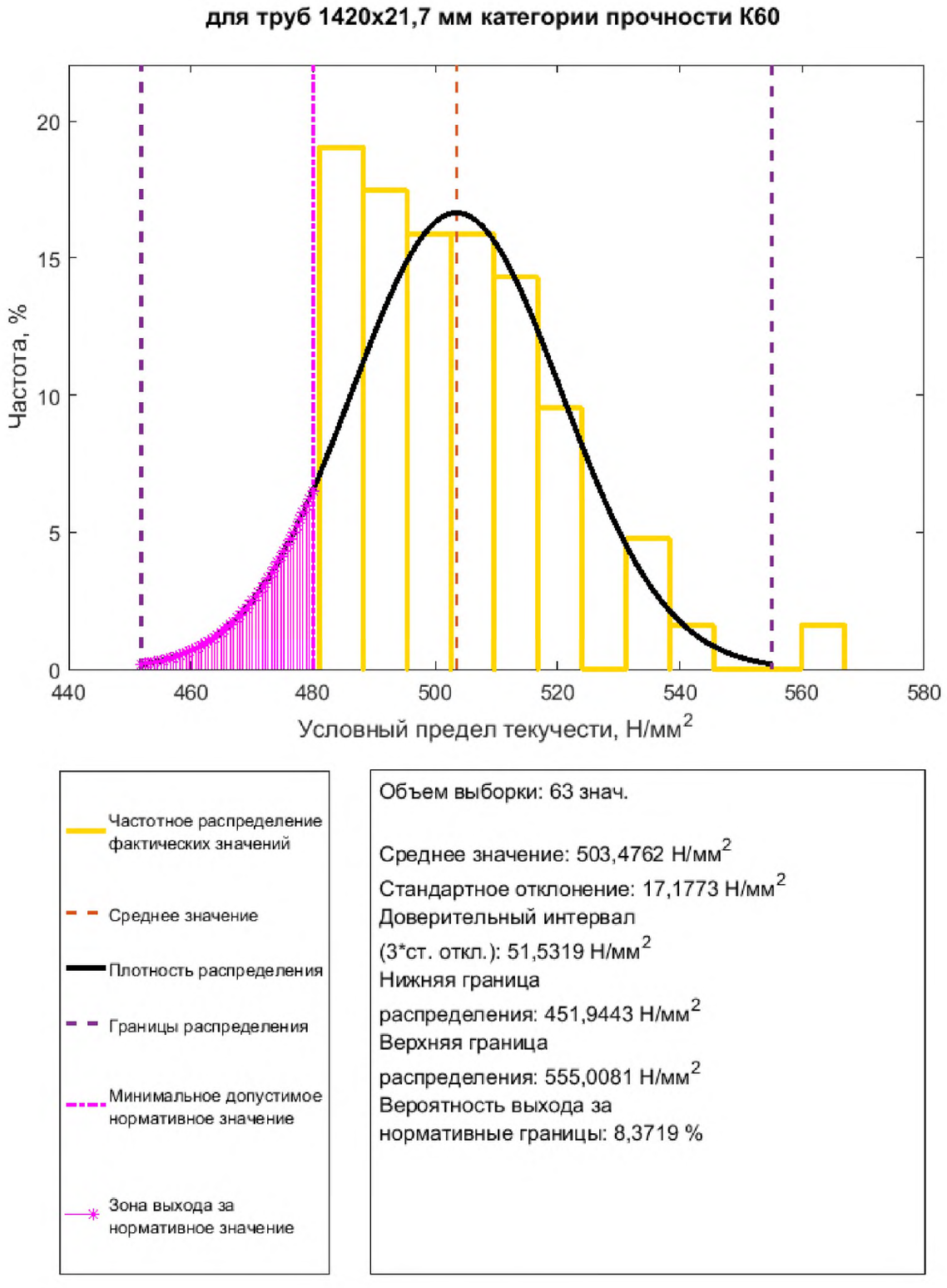

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Условный предел текучести, Н/мм2
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 63 знач.
Среднее значение: 503,4762 Н/мм2
Стандартное отклонение: 17,1773 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 51,5319 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 451,9443 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 555,0081 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 8,3719 %

Рисунок Б.2.6

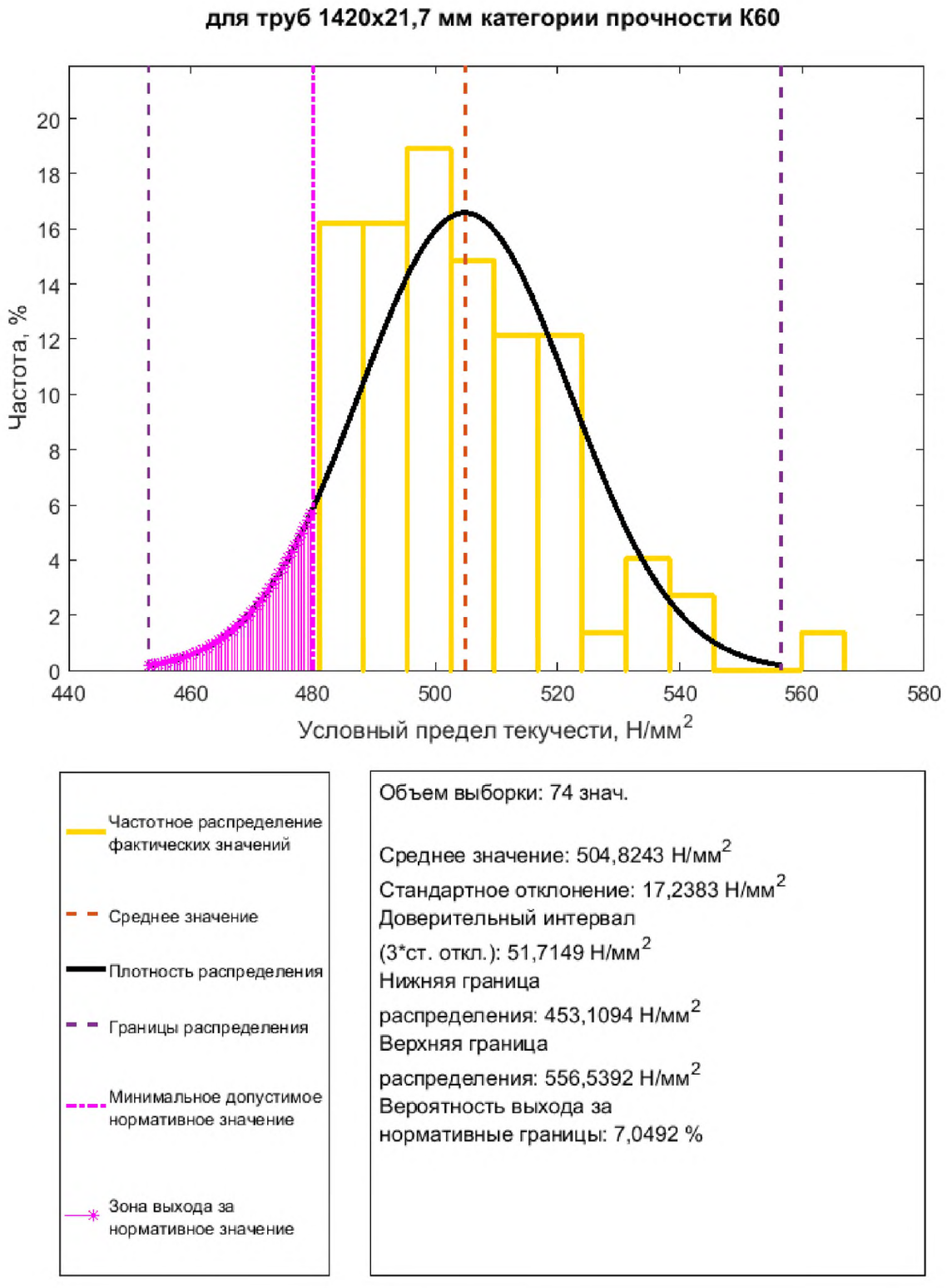

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Условный предел текучести, Н/мм2
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 74 знач.
Среднее значение: 504,8243 Н/мм2
Стандартное отклонение: 17,2383 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 51,7149 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 453,1094 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 556,5392 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 7,0492 %

Рисунок Б.2.7

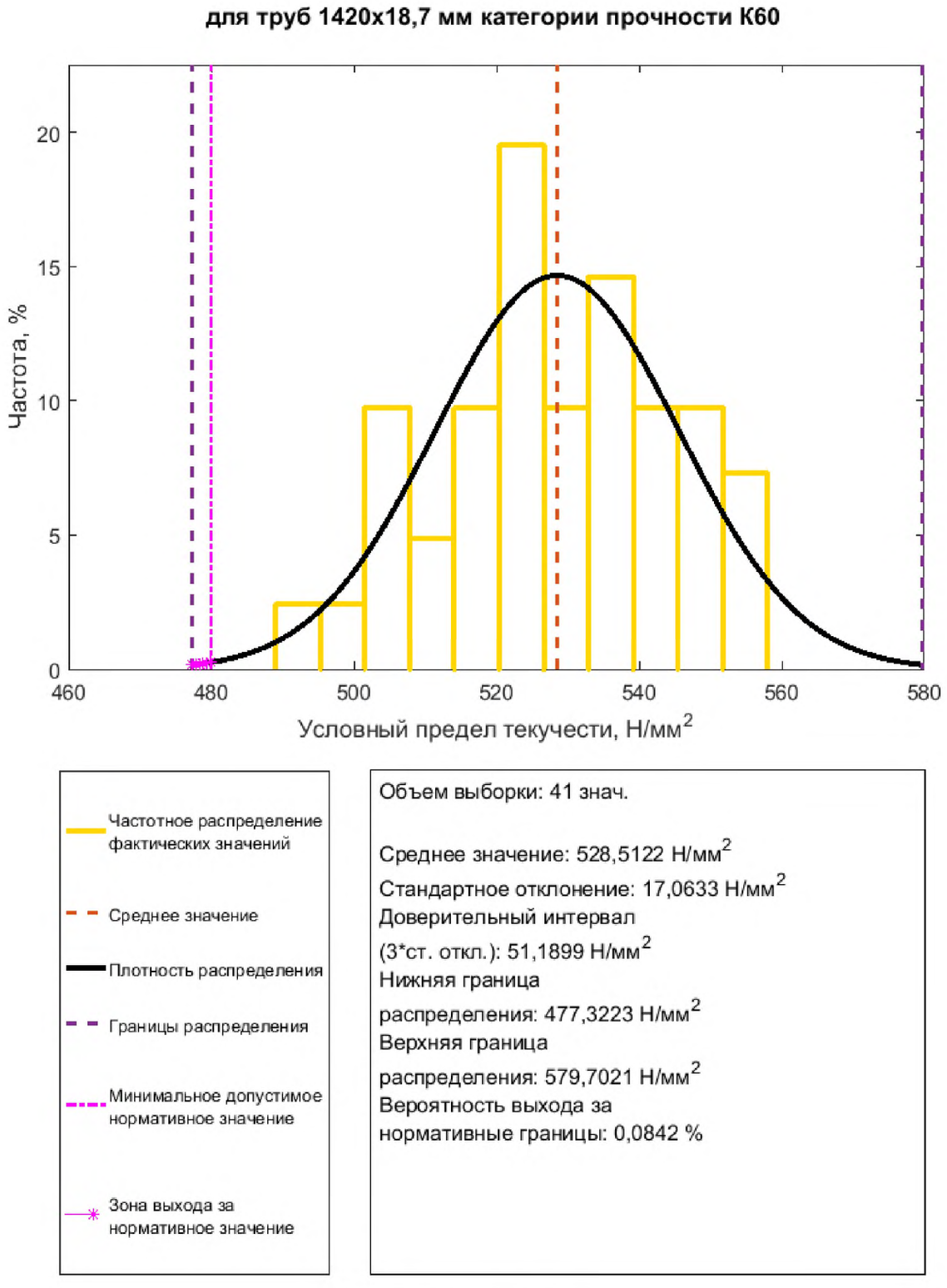

для труб 1420х18,7 мм категории прочности К60
Частота, %
0
5
10
15
20
460
480
500
520
540
560
580
Условный предел текучести, Н/мм2
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 41 знач.
Среднее значение: 528,5122 Н/мм2
Стандартное отклонение: 17,0633 Н/мм2
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 51,1899 Н/мм2
Нижняя граница распределения: 477,3223 Н/мм2
Верхняя граница распределения: 579,7021 Н/мм2
Вероятность выхода за нормативные границы: 0,0842 %

Рисунок Б.2.8

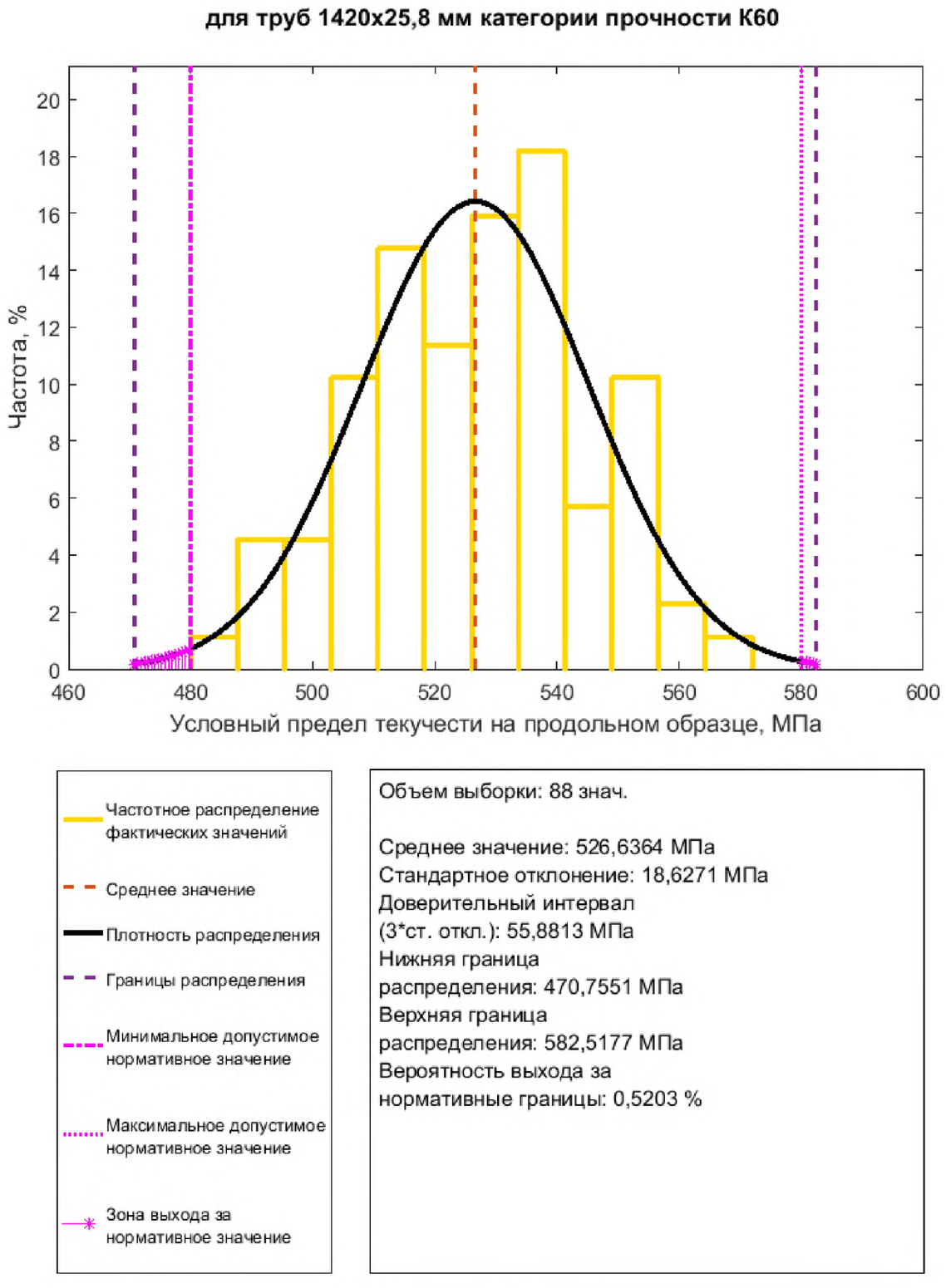

для труб 1420х25,8 мм категории прочности К60
Частота, %
Условный предел текучести на продольном образце, МПа
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Максимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 88 знач.
Среднее значение: 526,6364 МПа
Стандартное отклонение: 18,6271 МПа
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 55,8813 МПа
Нижняя граница распределения: 470,7551 МПа
Верхняя граница распределения: 582,5177 МПа
Вероятность выхода за нормативные границы: 0,5203 %

Рисунок Б.2.9

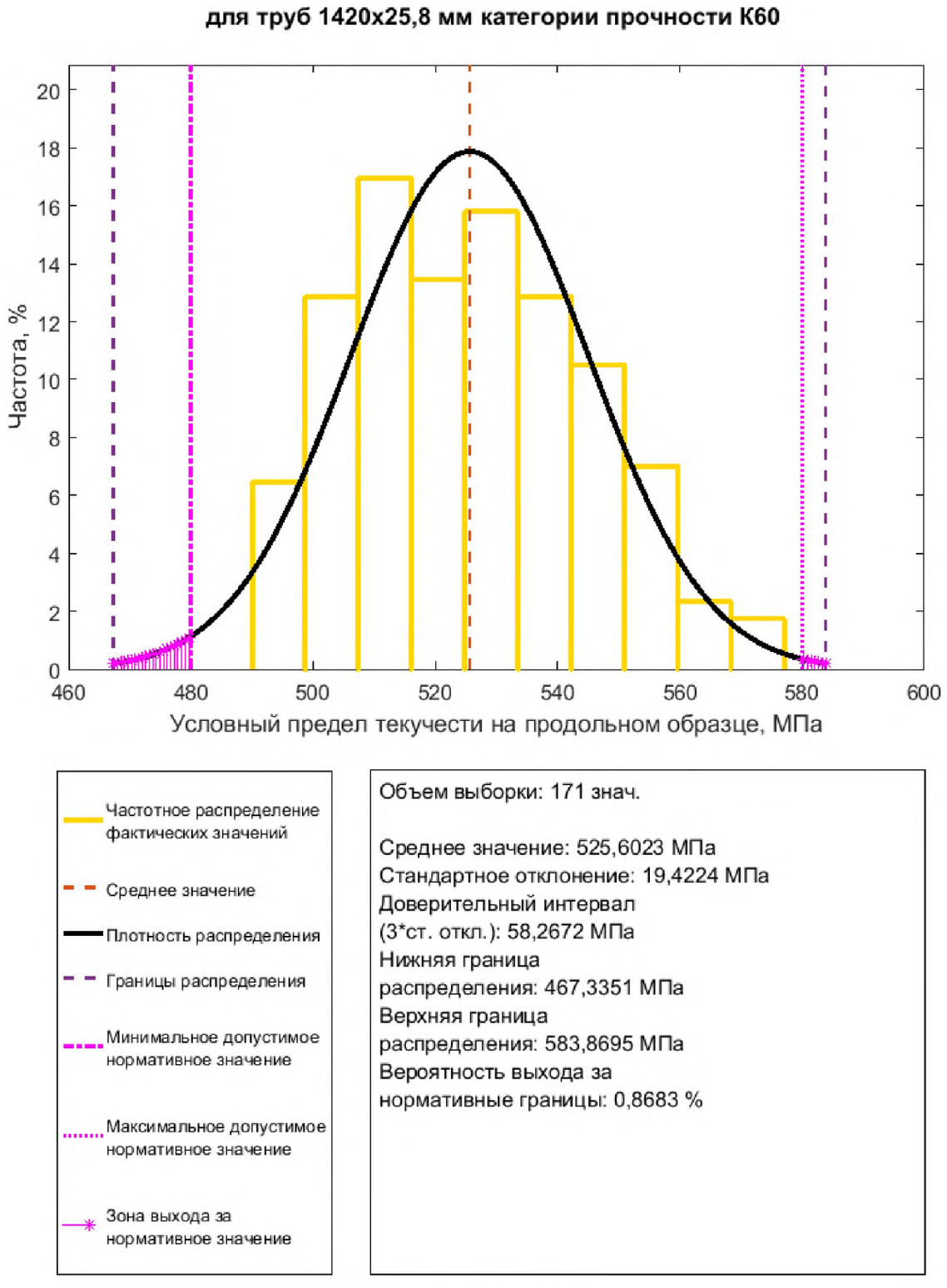


Рисунок Б.2.10

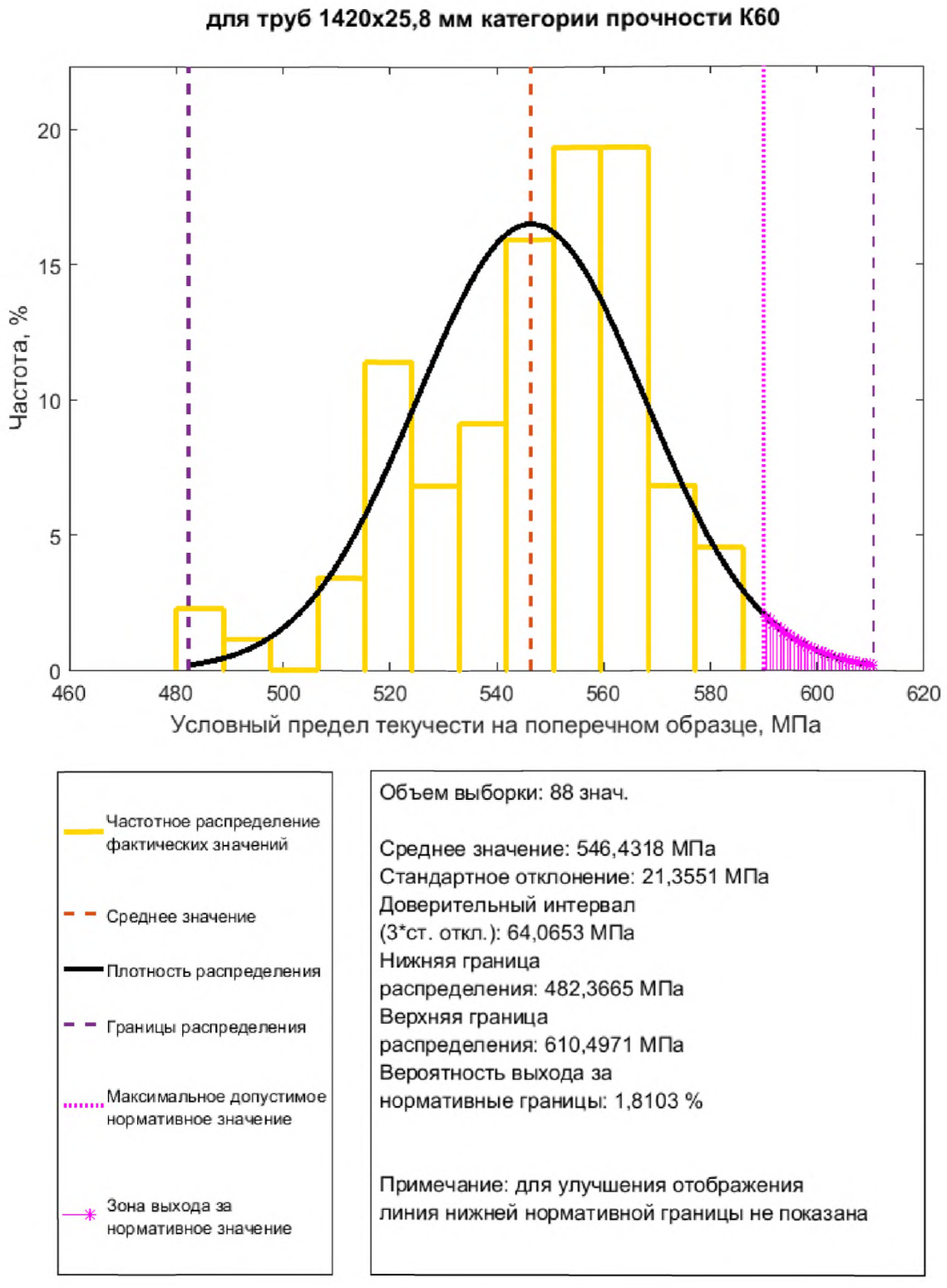


Рисунок Б.2.11

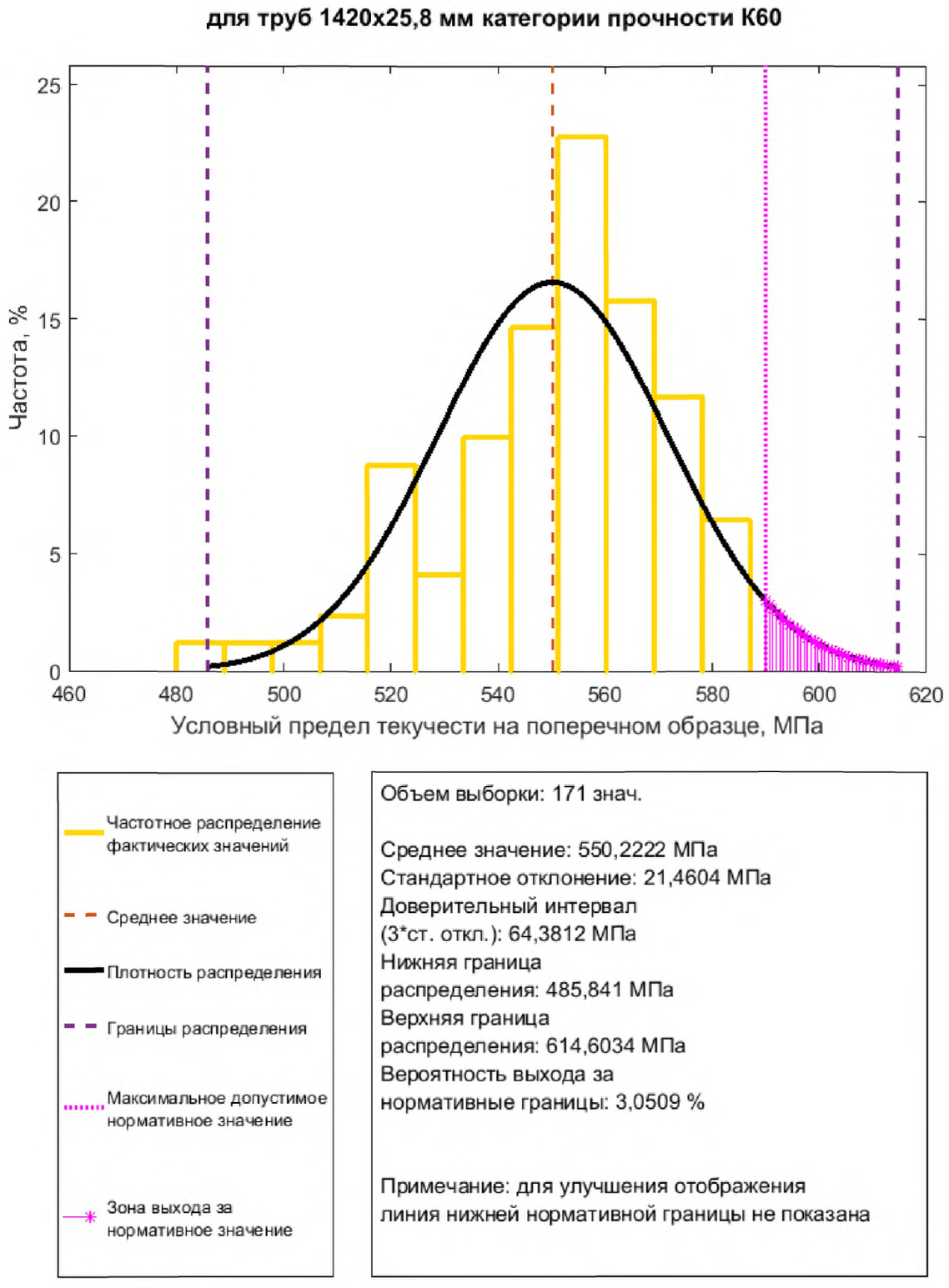


Рисунок Б.2.12

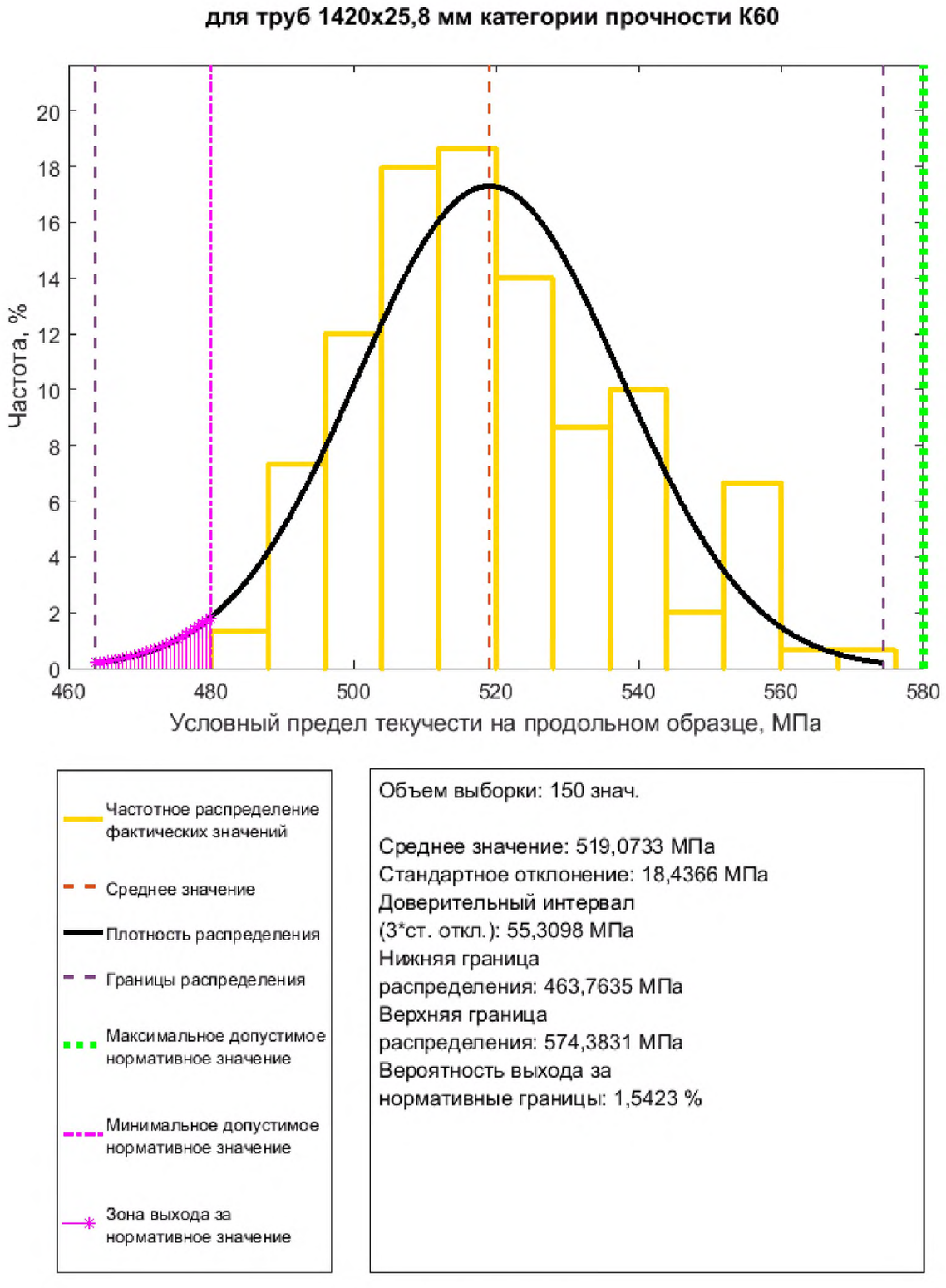


Рисунок Б.2.13

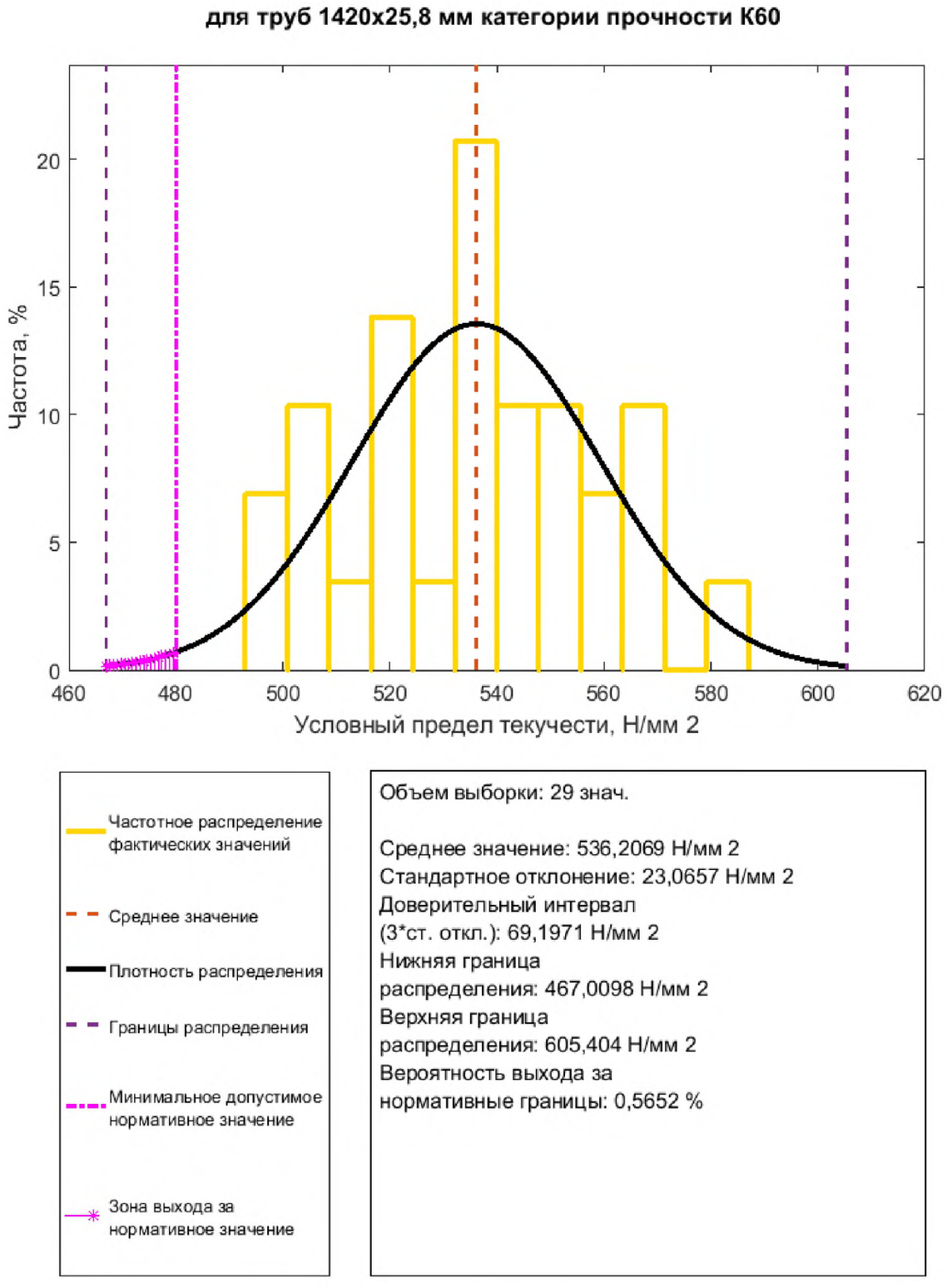


Рисунок Б.2.14

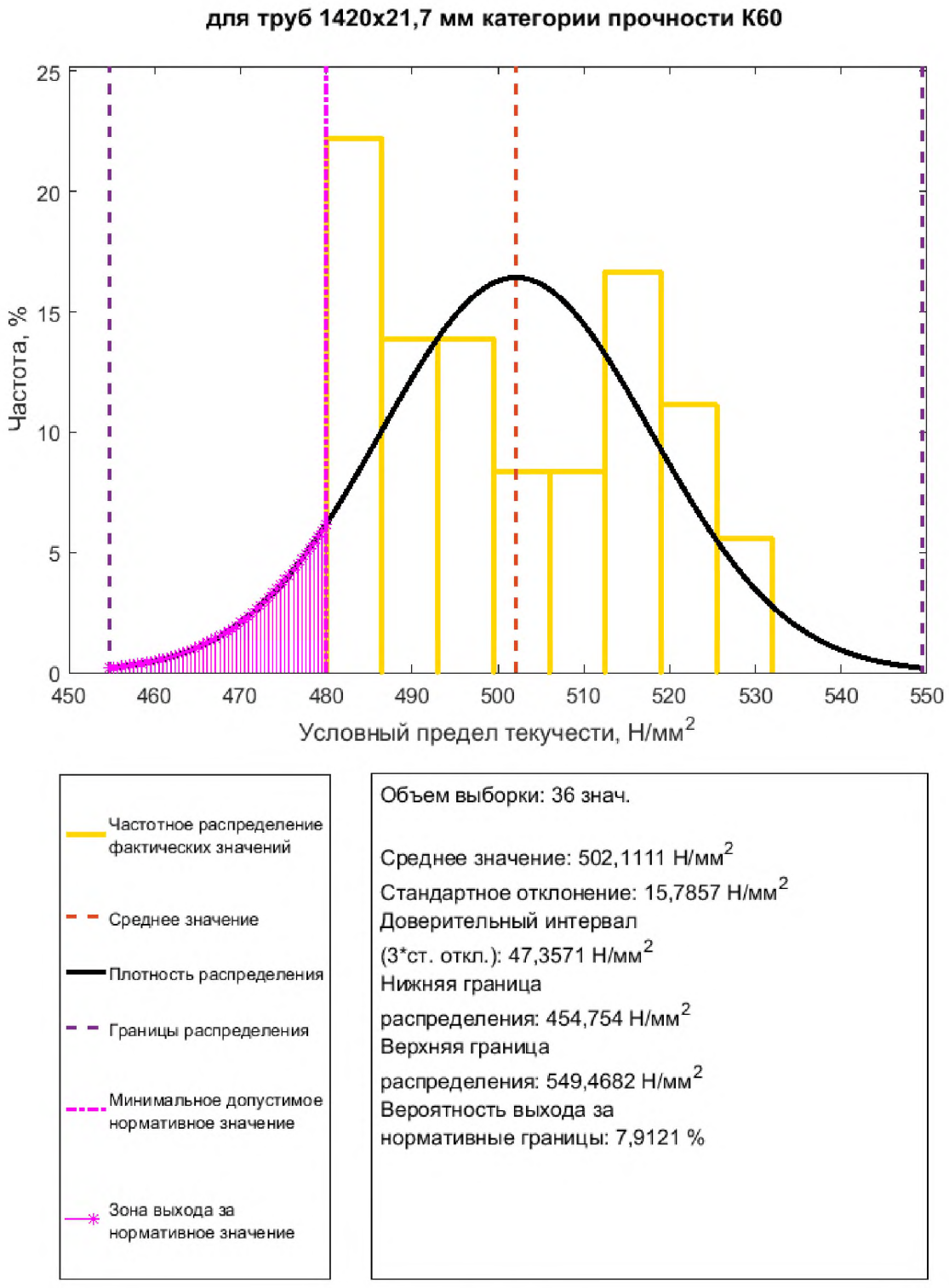


Рисунок Б.2.15

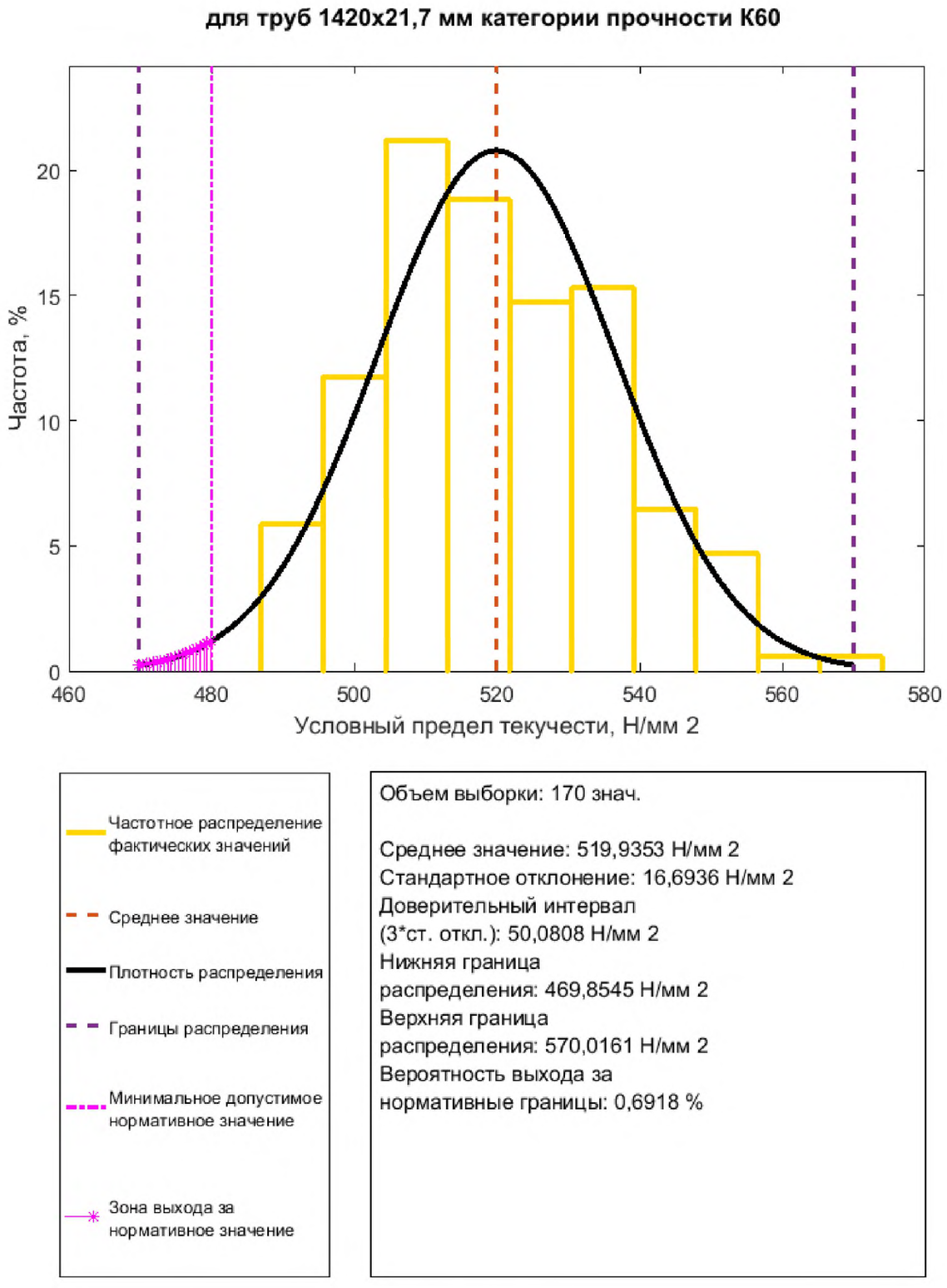


Рисунок Б.2.16

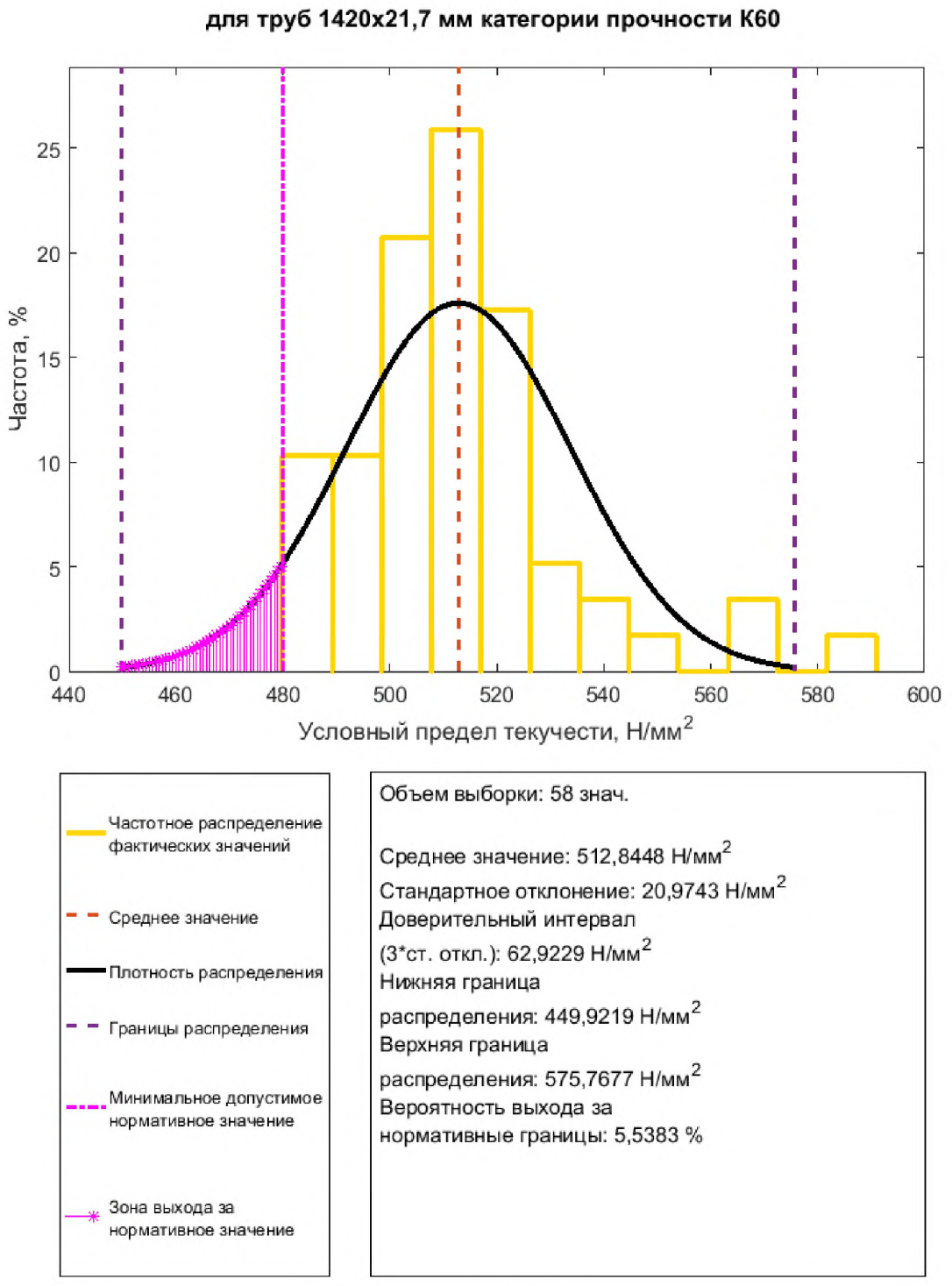


Рисунок Б.2.17

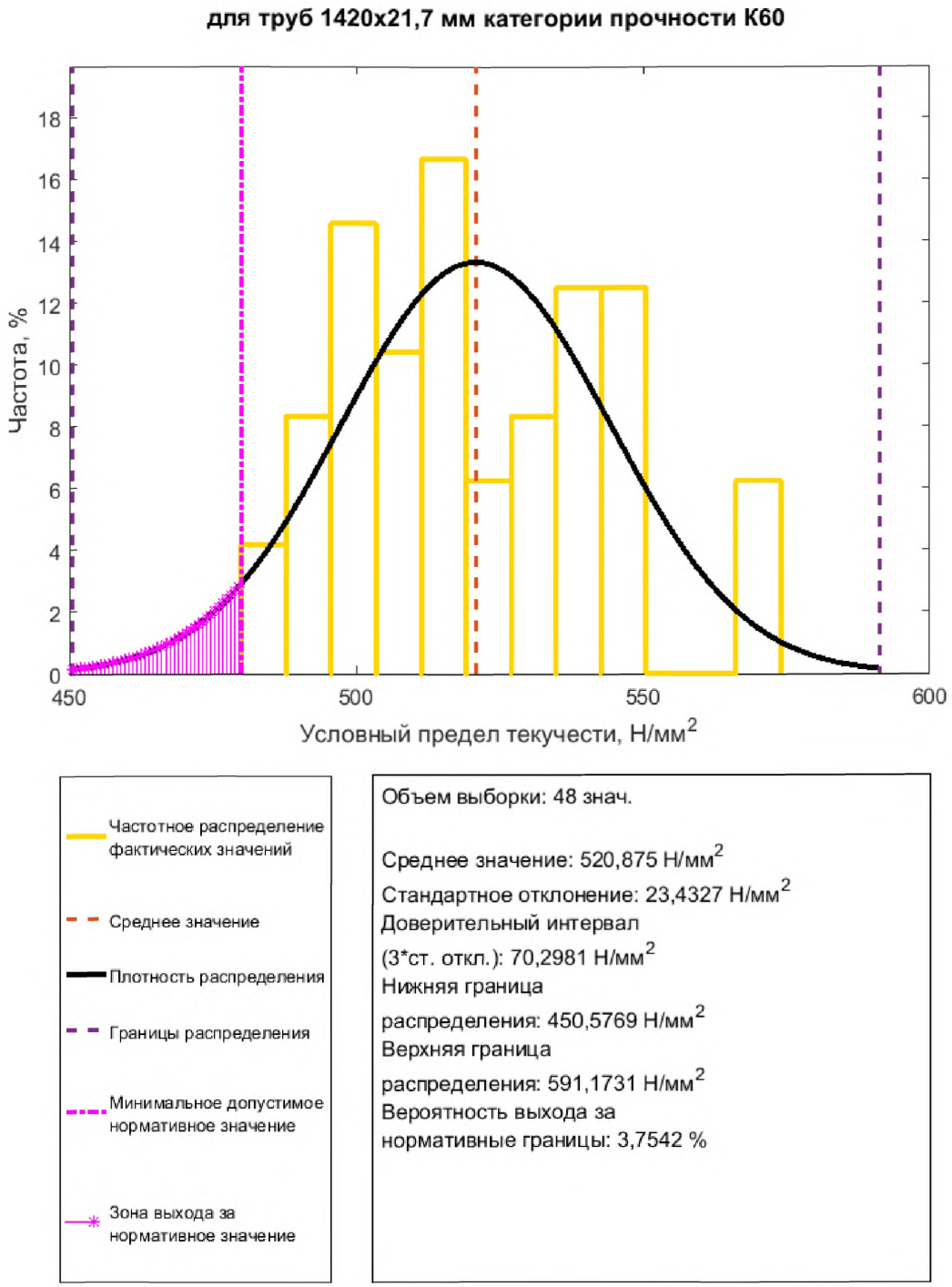


Рисунок Б.2.18

Примеры статистических характеристик трубной продукции по оносительному удлиннению:

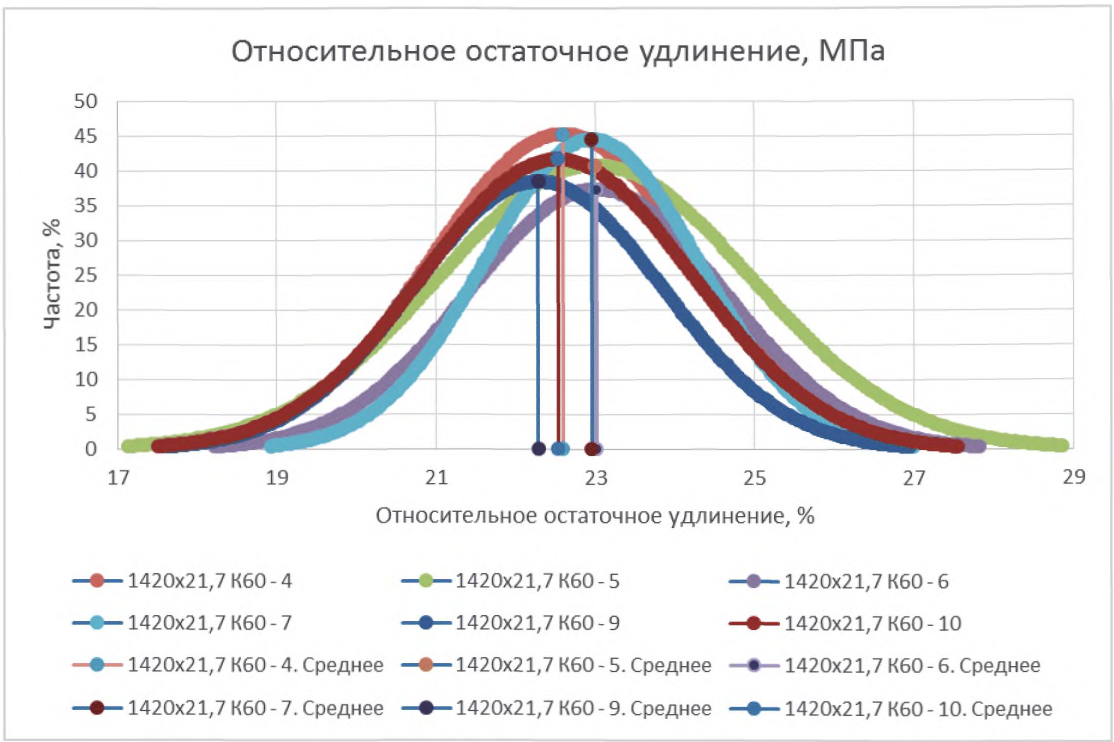


Рисунок Б.3 – Сводный график распределения показателей относительного остаточного удлинения для разных партий и заказов

Ниже представлены подробные кривые распределения относительного остаточного удлинения для отдельных партий и заказов (рисунки Б.3.1–Б.3.13).

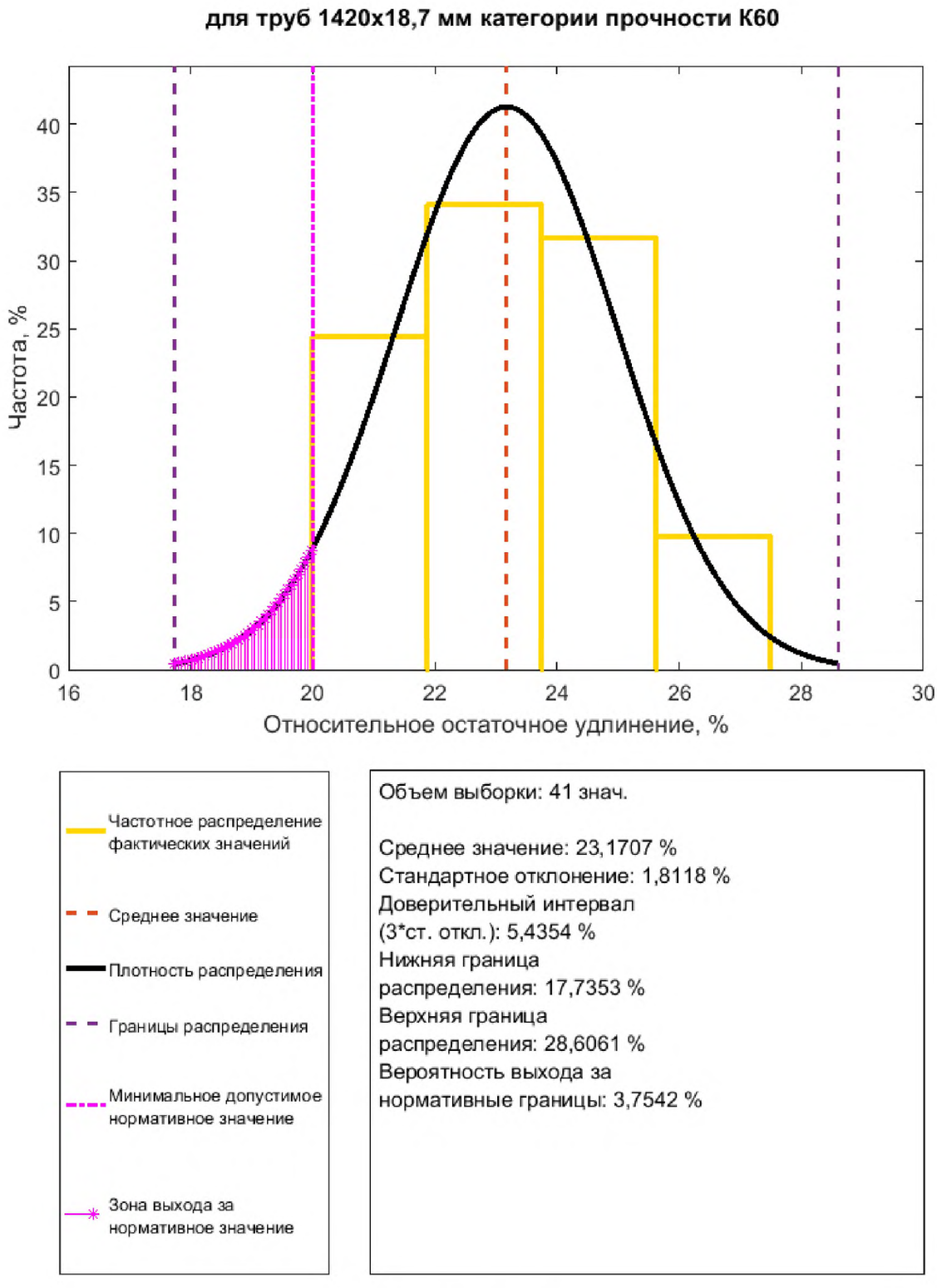

для труб 1420х18,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Относительное остаточное удлинение, %
0
5
10
15
20
25
30
35
40
16
18
20
22
24
26
28
30
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 41 знач.
Среднее значение: 23,1707 %
Стандартное отклонение: 1,8118 %
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 5,4354 %
Нижняя граница распределения: 17,7353 %
Верхняя граница распределения: 28,6061 %
Вероятность выхода за нормативные границы: 3,7542 %

Рисунок Б.3.1

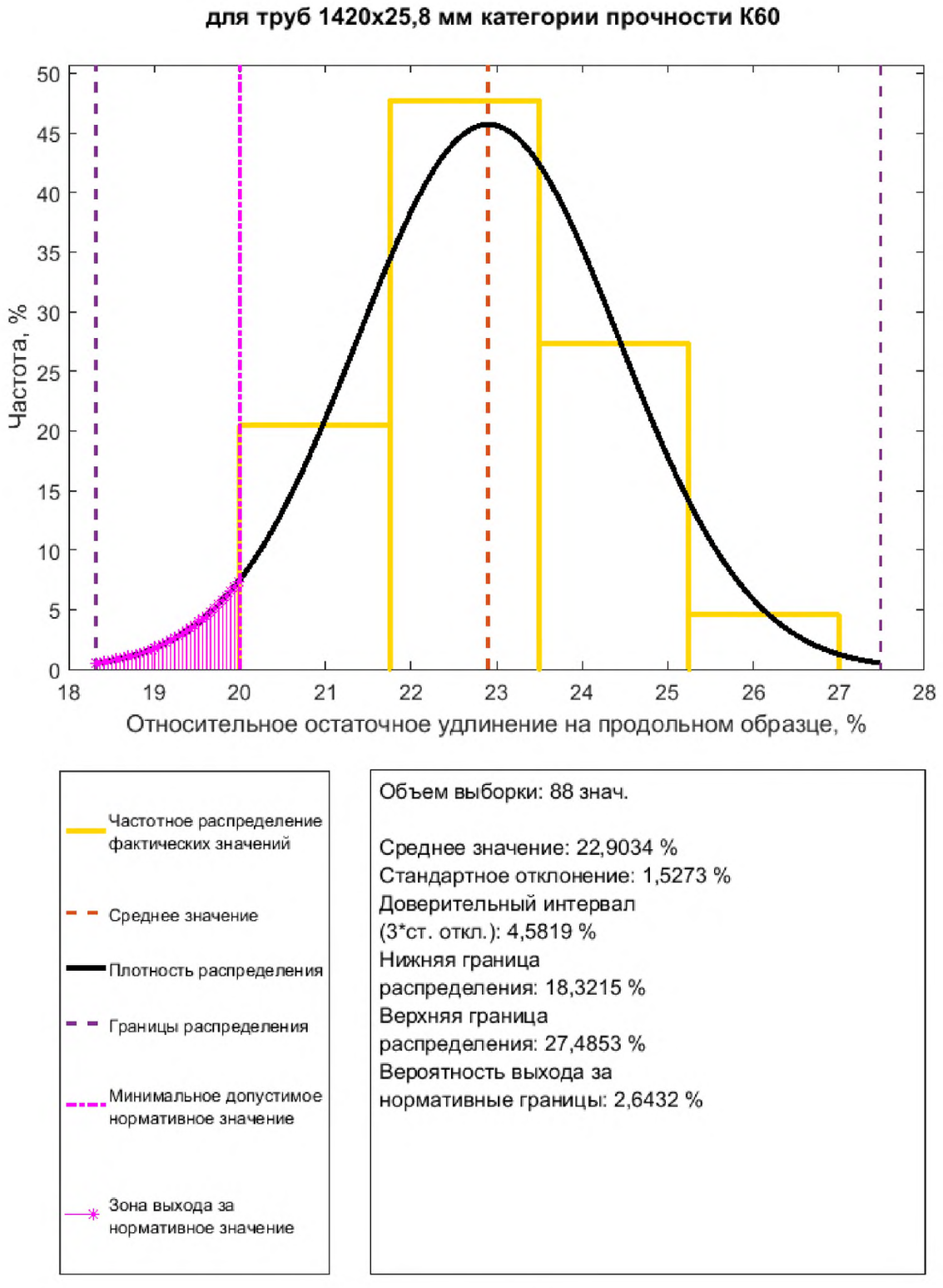

для труб 1420х25,8 мм категории прочности К60
Частота, %
Относительное остаточное удлинение на продольном образце, %
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 88 знач.
Среднее значение: 22,9034 %
Стандартное отклонение: 1,5273 %
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 4,5819 %
Нижняя граница распределения: 18,3215 %
Верхняя граница распределения: 27,4853 %
Вероятность выхода за нормативные границы: 2,6432 %

Рисунок Б.3.2

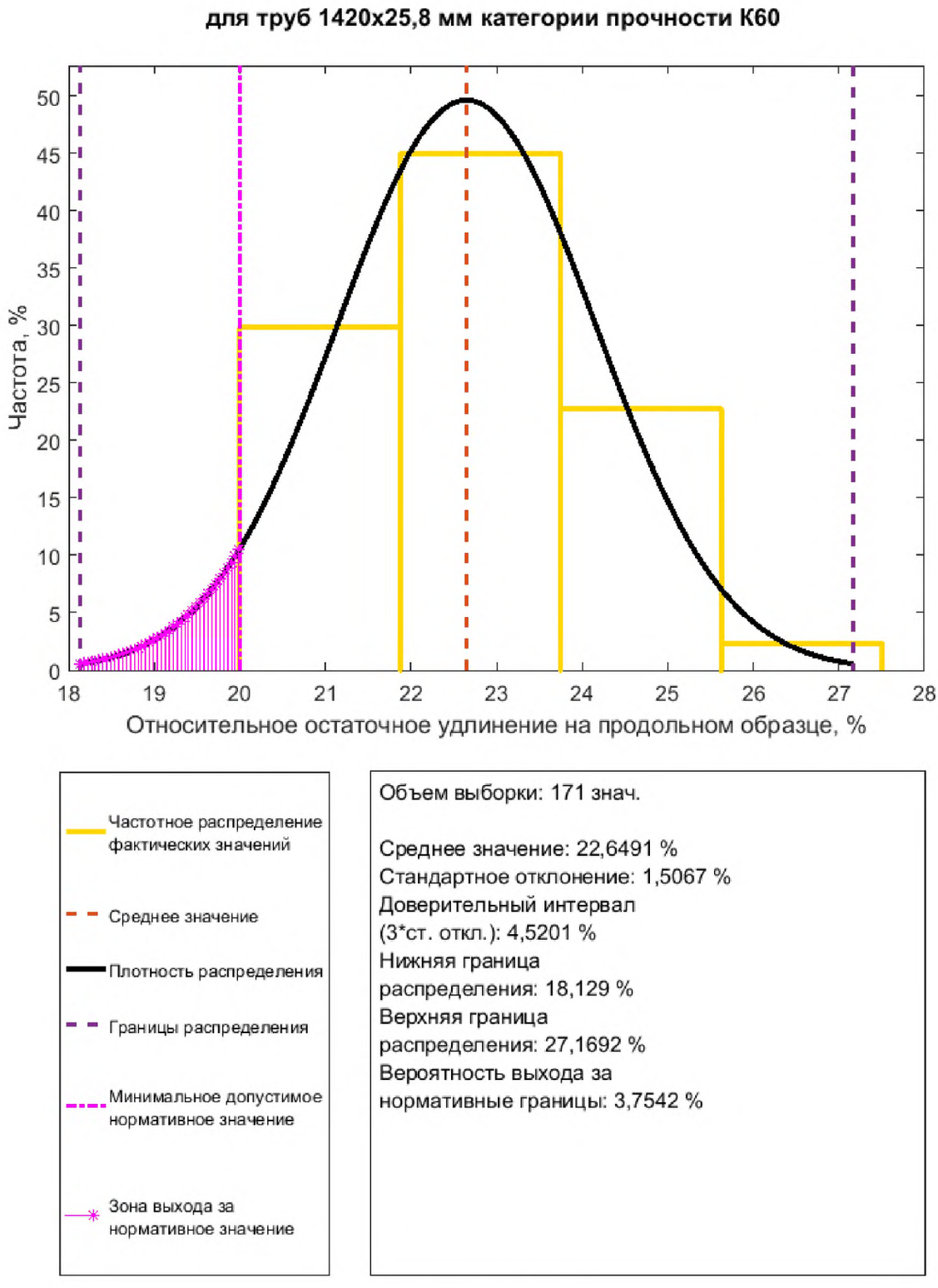

для труб 1420х25,8 мм категории прочности К60
Частота, %
Относительное остаточное удлинение на продольном образце, %
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 171 знач.
Среднее значение: 22,6491 %
Стандартное отклонение: 1,5067 %
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 4,5201 %
Нижняя граница распределения: 18,129 %
Верхняя граница распределения: 27,1692 %
Вероятность выхода за нормативные границы: 3,7542 %

Рисунок Б.3.3

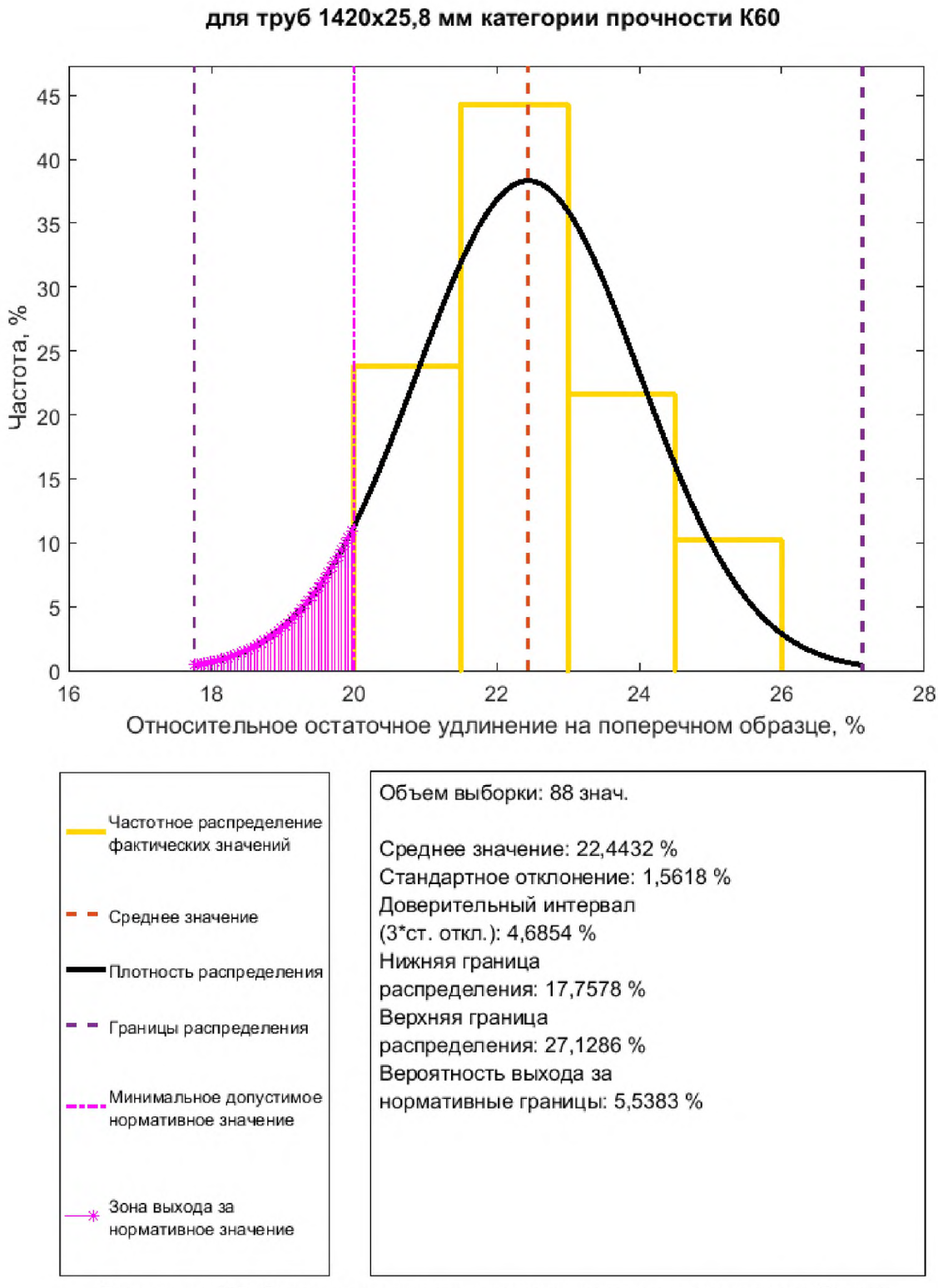


Диаграмма №5. Относительное остаточное удлинение на поперечном образце.

Рисунок Б.3.4

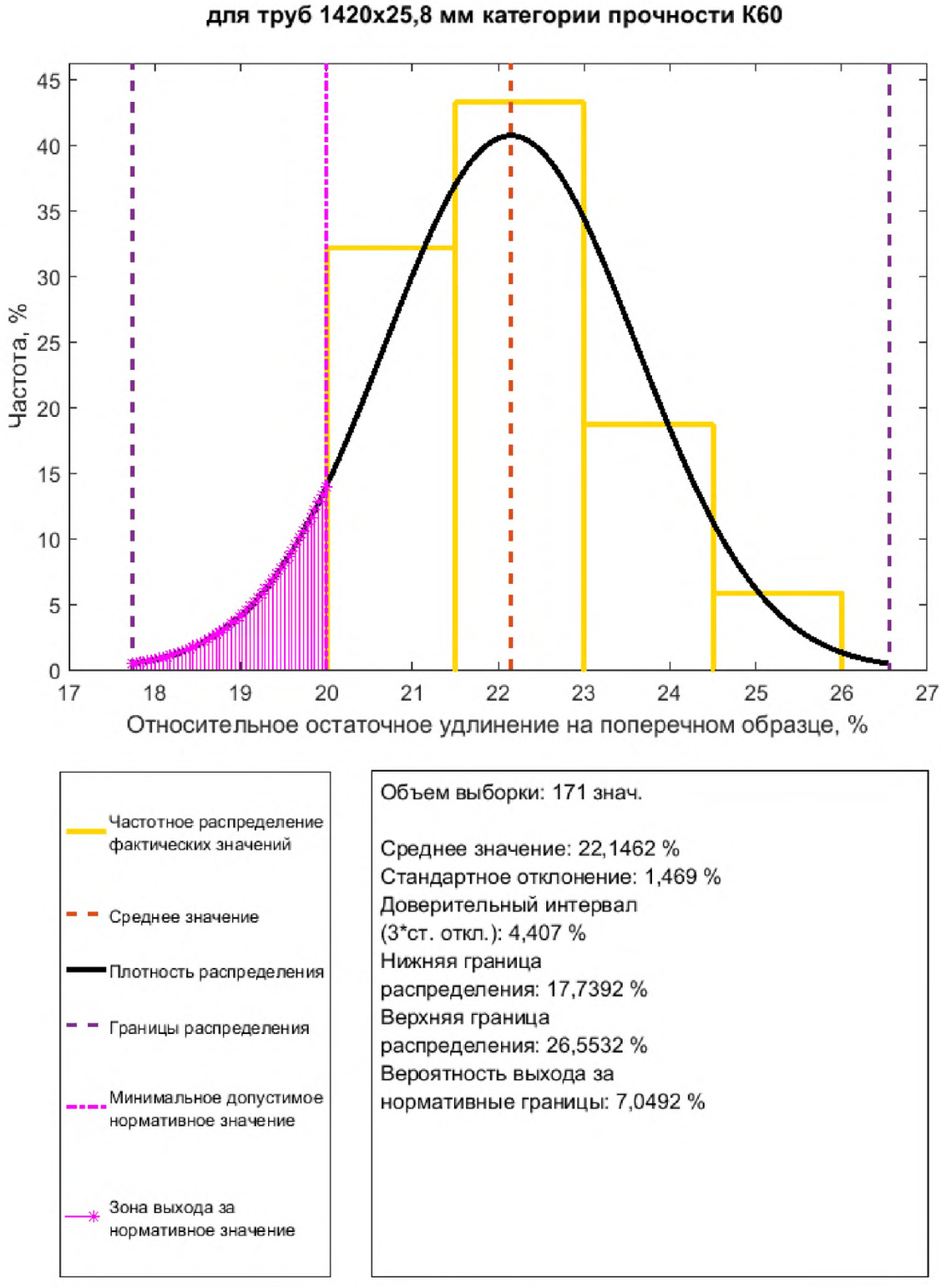

для труб 1420х25,8 мм категории прочности К60
Частота, %
Относительное остаточное удлинение на поперечном образце, %
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 171 знач.
Среднее значение: 22,1462 %
Стандартное отклонение: 1,469 %
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 4,407 %
Нижняя граница распределения: 17,7392 %
Верхняя граница распределения: 26,5532 %
Вероятность выхода за нормативные границы: 7,0492 %

Рисунок Б.3.5

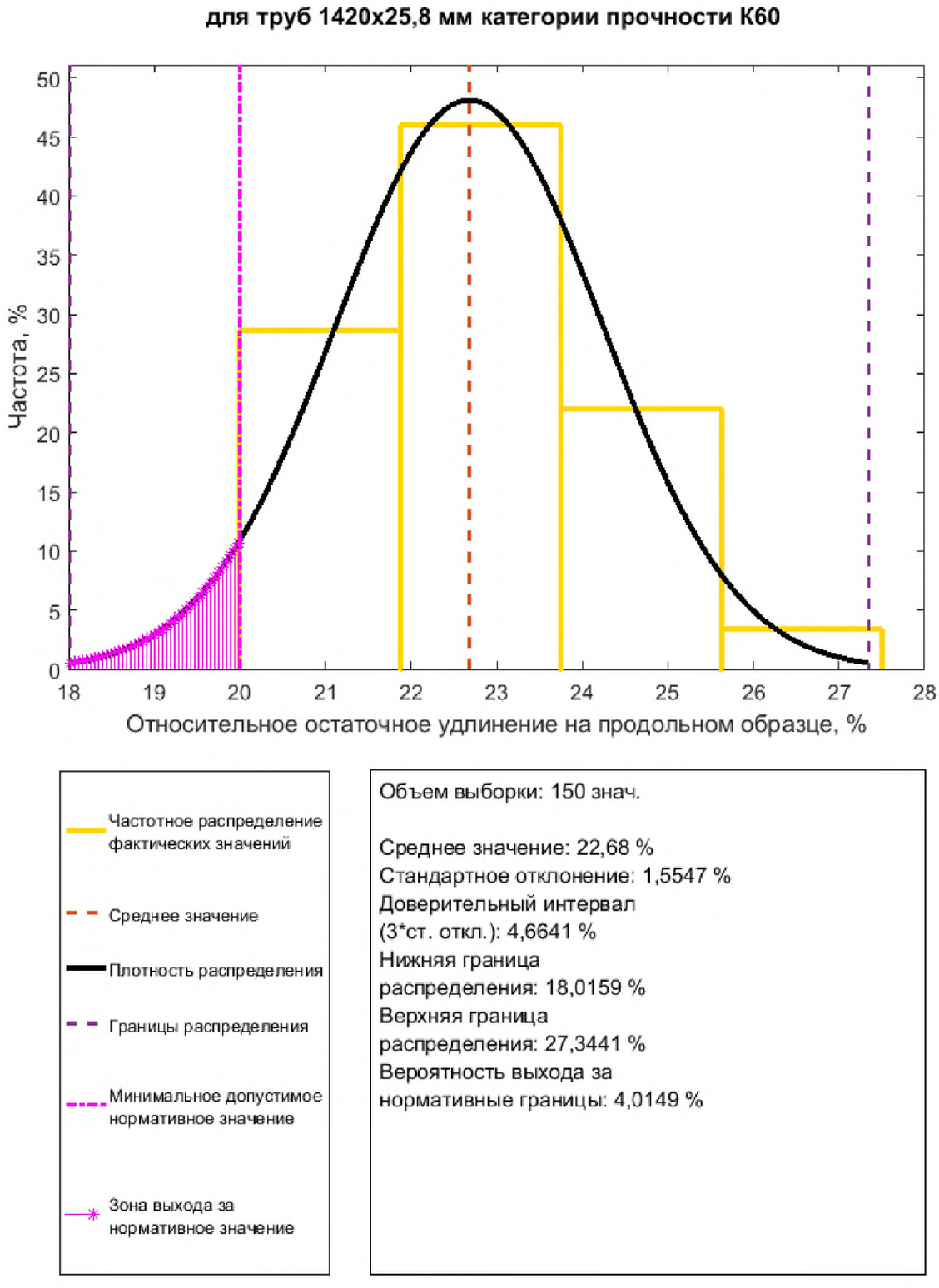

для труб 1420х25,8 мм категории прочности К60
Частота, %
Относительное остаточное удлинение на продольном образце, %
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 150 знач.
Среднее значение: 22,68 %
Стандартное отклонение: 1,5547 %
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 4,6641 %
Нижняя граница распределения: 18,0159 %
Верхняя граница распределения: 27,3441 %
Вероятность выхода за нормативные границы: 4,0149 %

Рисунок Б.3.6

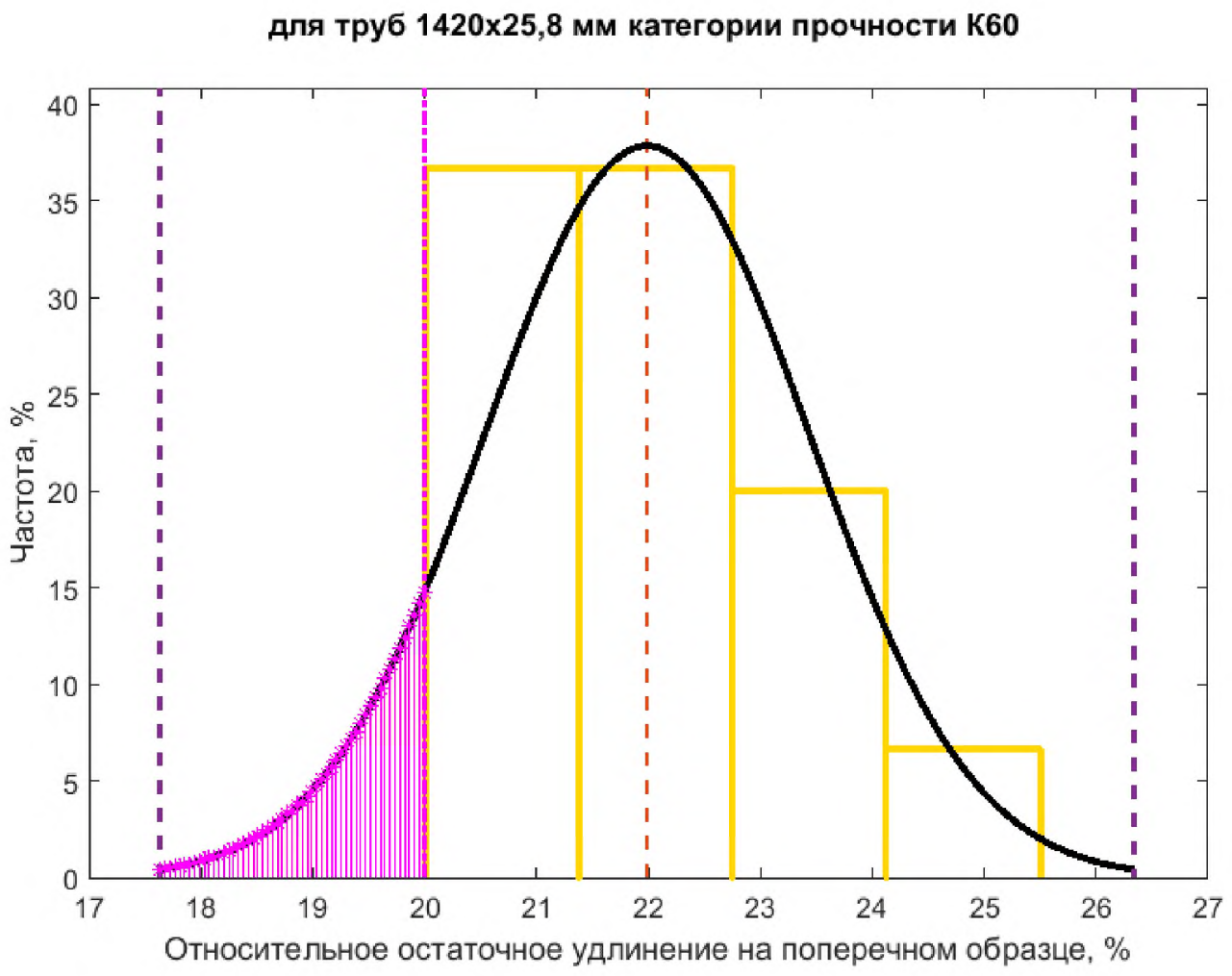

для труб 1420х25,8 мм категории прочности К60
Частота, %
Относительное остаточное удлинение на поперечном образце, %
0
5
10
15
20
25
30
35
40
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 150 знач.
Среднее значение: 21,9867 %
Стандартное отклонение: 1,4505 %
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 4,3515 %
Нижняя граница распределения: 17,6352 %
Верхняя граница распределения: 26,3382 %
Вероятность выхода за нормативные границы: 8,3719 %

Рисунок Б.3.7

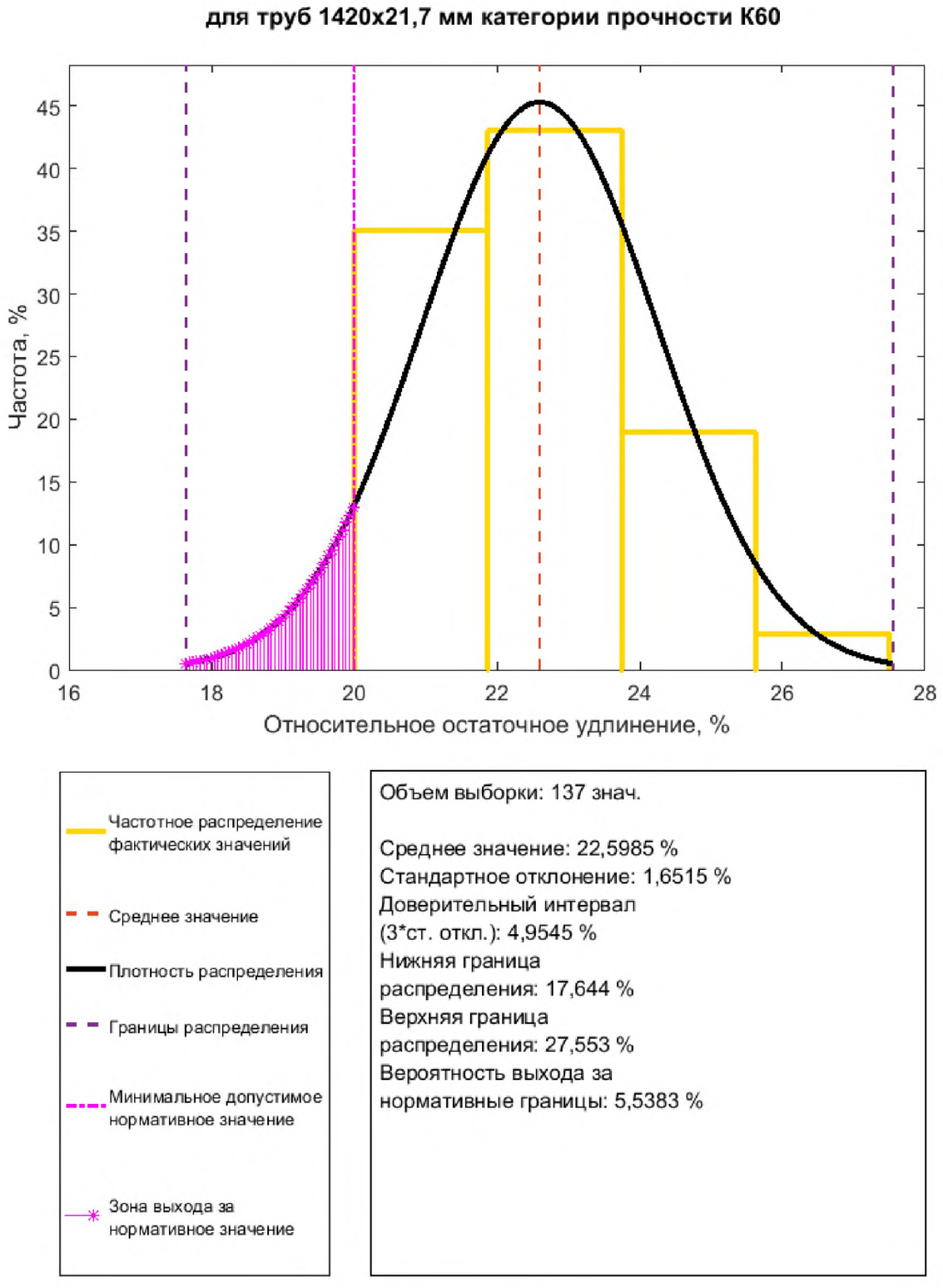

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Относительное остаточное удлинение, %
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
16
18
20
22
24
26
28
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 137 знач.
Среднее значение: 22,5985 %
Стандартное отклонение: 1,6515 %
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 4,9545 %
Нижняя граница распределения: 17,644 %
Верхняя граница распределения: 27,553 %
Вероятность выхода за нормативные границы: 5,5383 %

Рисунок Б.3.8

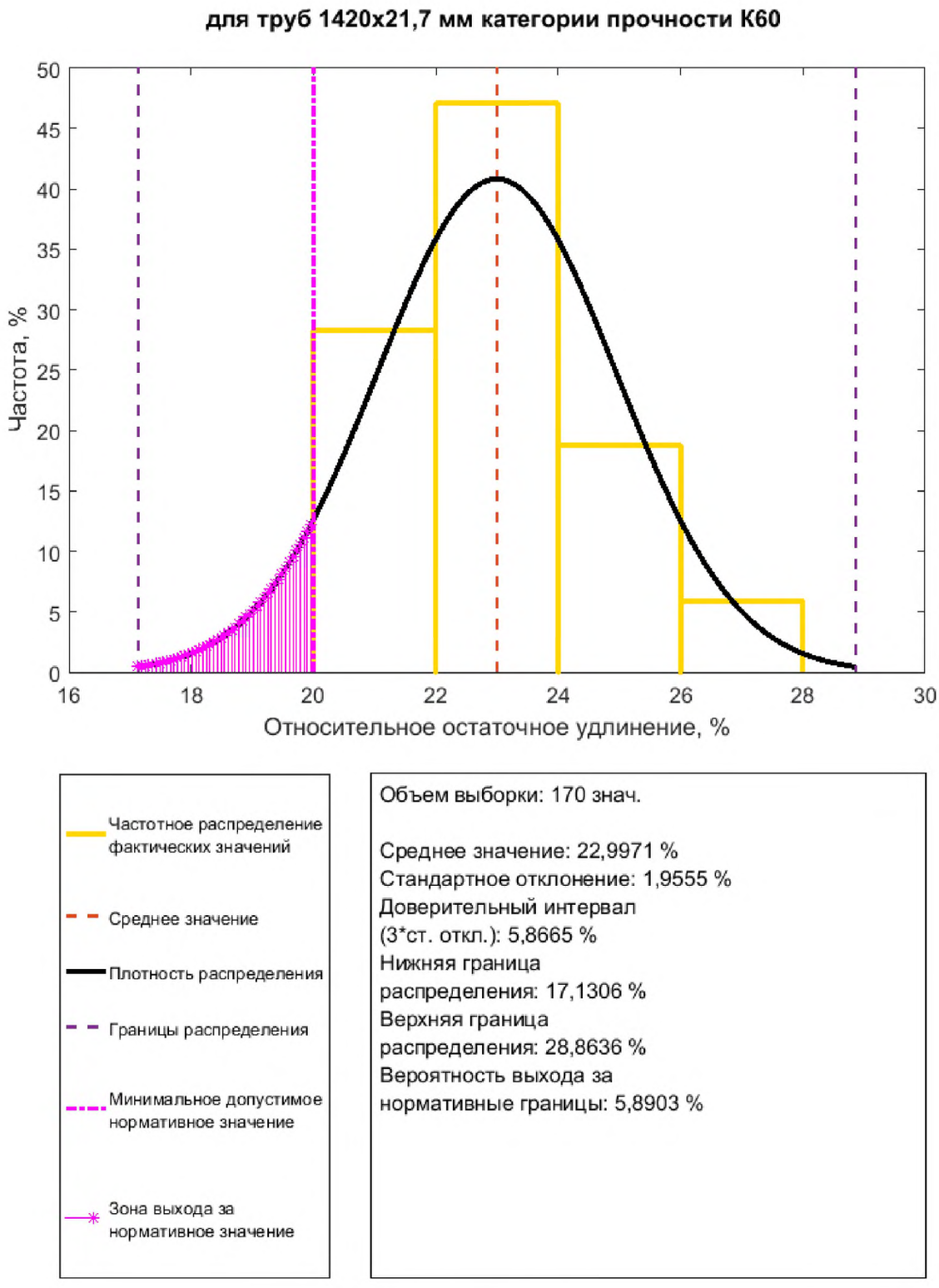

для труб 1420х21,7 мм категории прочности К60
Частота, %
Относительное остаточное удлинение, %
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
16
18
20
22
24
26
28
30
Частотное распределение фактических значений
Среднее значение
Плотность распределения
Границы распределения
Минимальное допустимое нормативное значение
Зона выхода за нормативное значение
Объем выборки: 170 знач.
Среднее значение: 22,9971 %
Стандартное отклонение: 1,9555 %
Доверительный интервал (3*ст. откл.): 5,8665 %
Нижняя граница распределения: 17,1306 %
Верхняя граница распределения: 28,8636 %
Вероятность выхода за нормативные границы: 5,8903 %

Рисунок Б.3.9

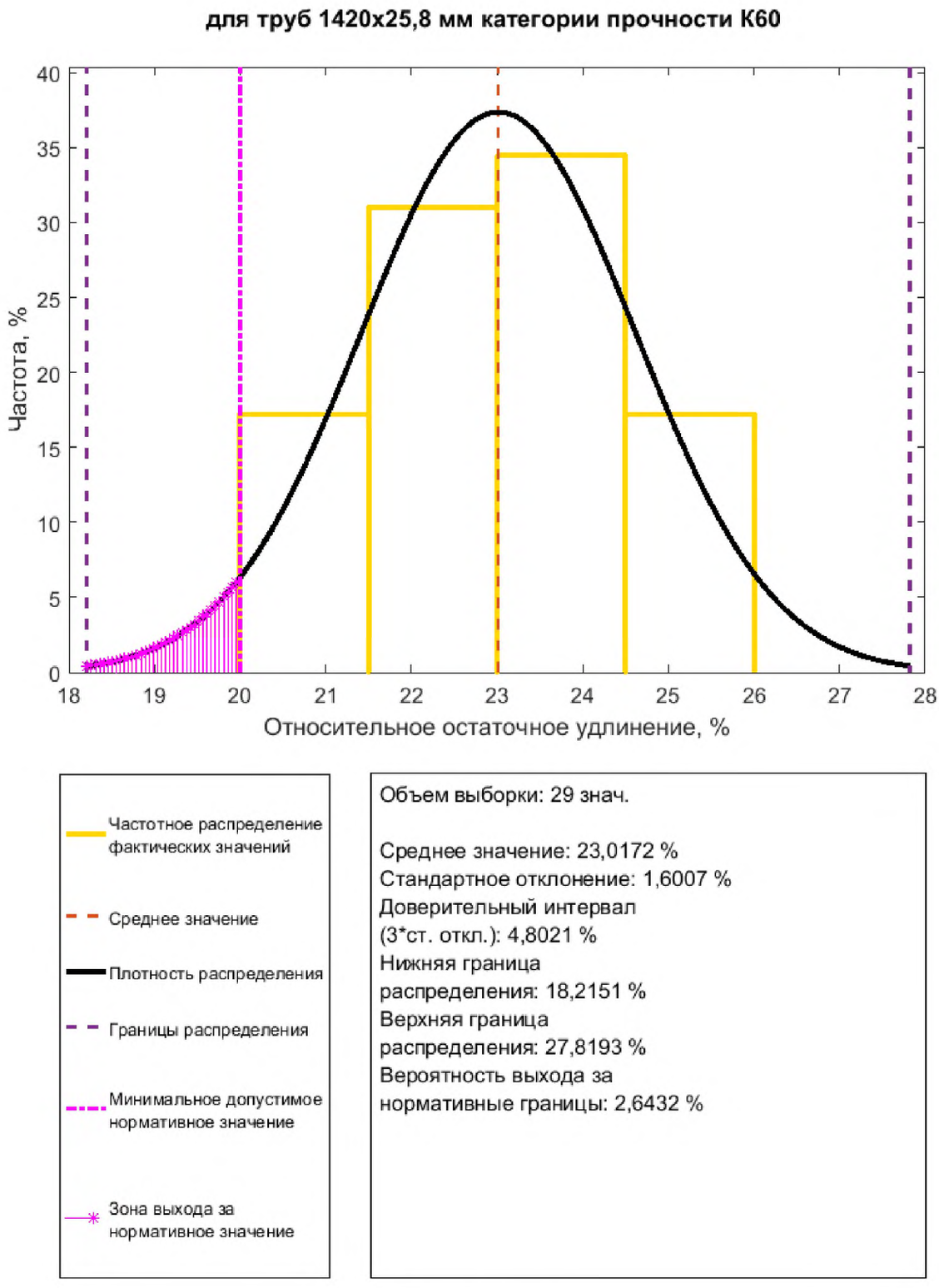


Рисунок Б.3.10

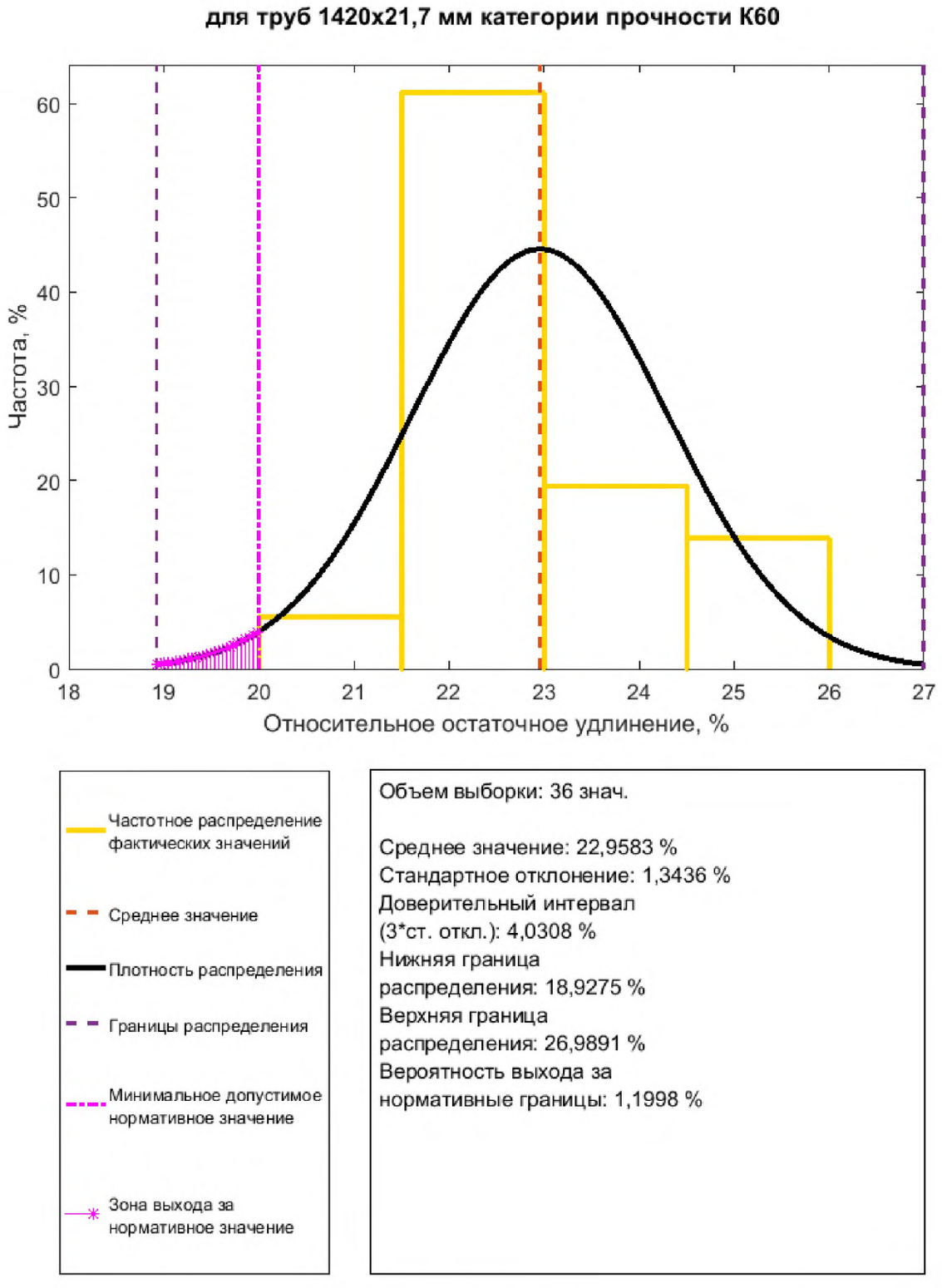


Рисунок Б.3.11

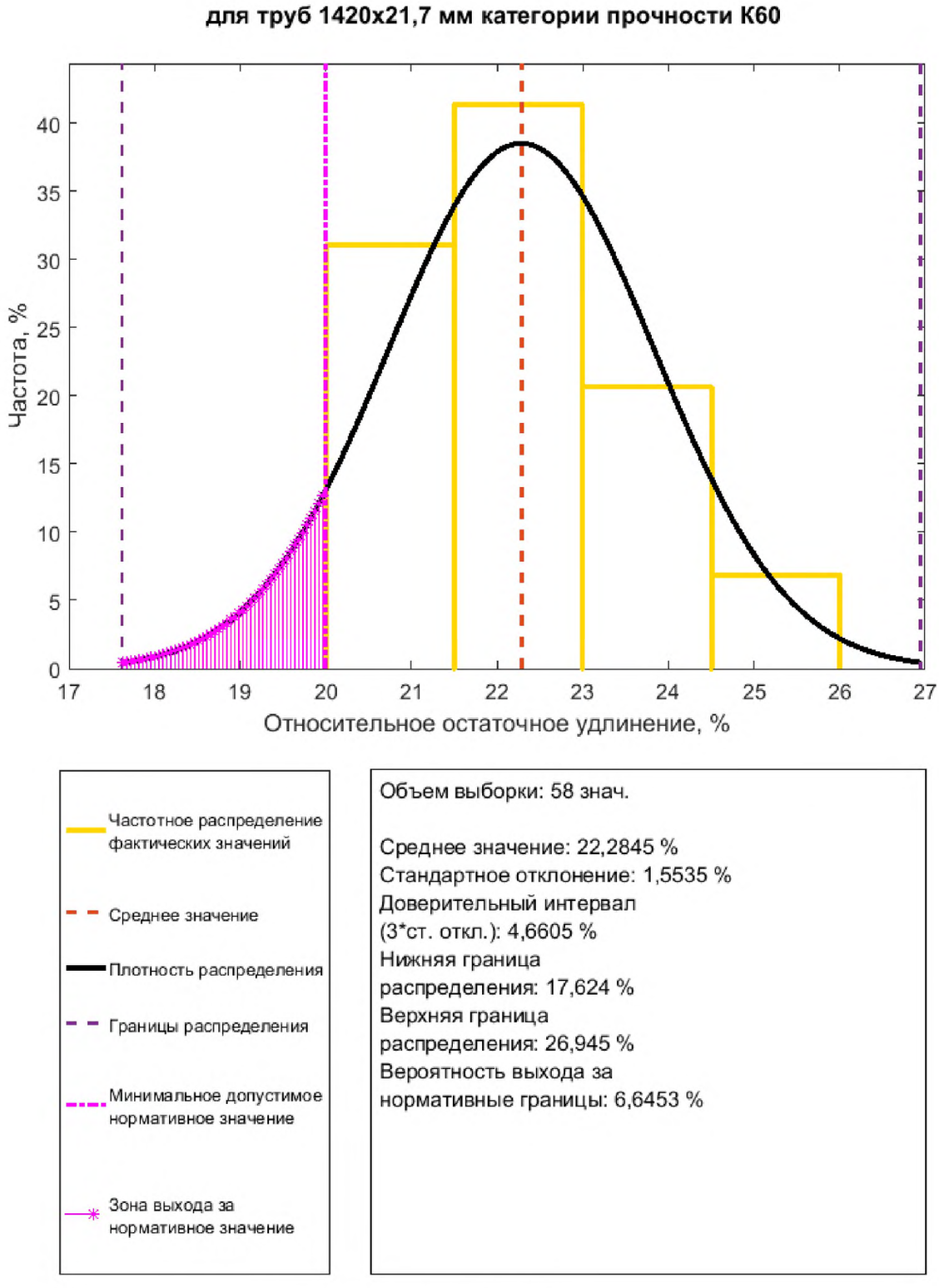


Рисунок Б.3.12

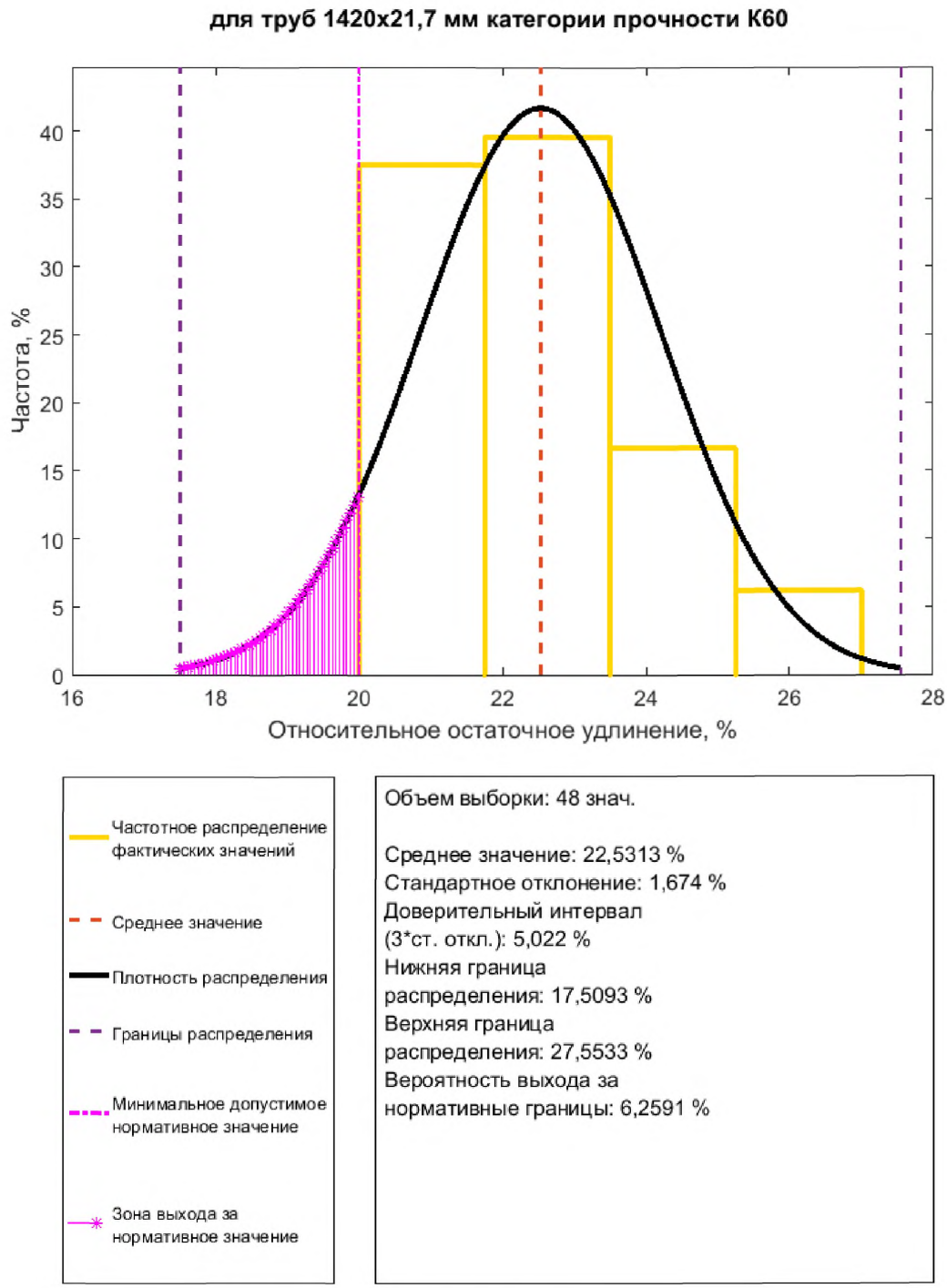


Рисунок Б.3.13

Из вышеприведенных многочисленных данных статистического анализа распределения механических характеристик металла труб виден их значительный разброс, как в части средних статистических, так и в стандартном отклонении.

Будем рассматривать оба параметра $\bar{x}_i$ и σ_i, характеризующих частную совокупность i, как случайные величины, распределенные по нормальному закону. Полагая также, что и признак в каждой частной совокупности распределен нормально, получим, согласно [4], следующее выражение для определения обеспеченности нормативных сопротивлений $P_{об}$ как вероятности отсутствия в данной партии металла со значениями контролируемого признака ниже его нормативного значения C:

$$P_{об} = 1 - P\,(x < C / X_1,\ X_2,\ \ldots,\ X_n) = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} d\bar{x}_i \int_{-\infty}^{\infty} d\sigma_i\, p\,(\bar{x}_i,\ \sigma_i) \prod_{m=1}^{n} \times$$

$$\times\, f_i\left(X_m/\bar{x}_i, \sigma_i\right) \int_{-\infty}^{C} f_i\,(x/\bar{x}_i, \sigma_i)\, dx \Bigg/ \int_{-\infty}^{\infty} dz_1 \int_{-\infty}^{\infty} p\,(z_1,\ z_2) \prod_{m=1}^{n} f_i\,(X_m/z_1,\ z_2)\, dz_2,$$

где

$P(\bar{x}_i, \sigma_i)$ – двухмерная плотность вероятности случайных величин $\bar{x}_i$, σ_i;

$f(x/\bar{x}_i, \sigma_i)$ – плотность вероятности распределения признака в частной совокупности с параметрами $\bar{x}_i$ и σ_i;

$\prod_{m=1}^{n} f_i(X_m/\bar{x}_i, \sigma_i)$ – вероятность получения в частной совокупности i результатов контрольных испытаний $X_1, X_2, \ldots, X_n$.

Вводя нормальное распределение в явном виде, получим после преобразований

$$P_{об} = 1 - P\left(x < C / \bar{X}_m,\ \left(\overline{X_m^2}\right),\ n\right) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi\left(\sigma_i\right) \int_{-\infty}^{f(\sigma_i)} e^{-t^2}\, d\sigma_i\, dt \Big/ \sqrt{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(z_2)\, dz_2,$$

где $f(\sigma_i)$ зависит от σi, C, n, R, A_1, ω_1, A_2, ω_2, $\bar{X}_m$;

здесь

R – коэффициент корреляции между $\bar{x}_i$ и σ_i;

A_1, A_2 и ω_1, ω_2 – математические ожидания и среднеквадратические отклонения соответственно случайных величин $\bar{x}_i$ и σ_i;

$\bar{X}_m$ – средний результат контрольных испытаний;

$\Phi(\sigma_i)$ и $\Phi(z)$ зависят от тех же величин, что и $f(\sigma_i)$, и еще от $\overline{(X_m^2)}$ – среднего квадратов результатов контрольных испытаний.

Отметим, что учет рассеяния значений среднеквадратических отклонений частных совокупностей позволяет выявить, еще и влияние разброса результатов контрольных испытаний на обеспеченность нормативных сопротивлений. За меру этого разброса примем отношение

$$K = \overline{(X_m^2)} \,/\, (\overline{X}_m)^2.$$

Вычислены значения искомой обеспеченности по формуле (2) на примере предела текучести стали марки Ст. 3сп. На рисунках Б.4–Б.7 представлены результаты этих вычислений. Кривым 1, 2, 3, 4, 5 (рис. Б.4 и Б.7) соответствуют значения $\overline{X_m}$= 20, 22, 24, 26 и 28 кГ/мм^2. Принимались следующие значения параметров (если они не оговорены на соответствующих рисунках): A_1 = 28; A_2 = 1,5; ω_1 = 2,5; ω_2 = 0,25; C = 24 (все в кГ/мм^2); n = 2 и R = 0. Для предела текучести стали марки Ст.3сп в большинстве случаев величина К колеблется в пределах от 1,00 до 1,05. Однако с целью анализа асимптотического поведения величины $P_{об}$ значения K варьировались в интервале 1,00–1,25.

Рисунки Б.4 и Б.5 позволяют оценить влияние рассеяния стандарта частных совокупностей на зависимость обеспеченности нормативных сопротивлений от $\overline{X_m}$ и K.

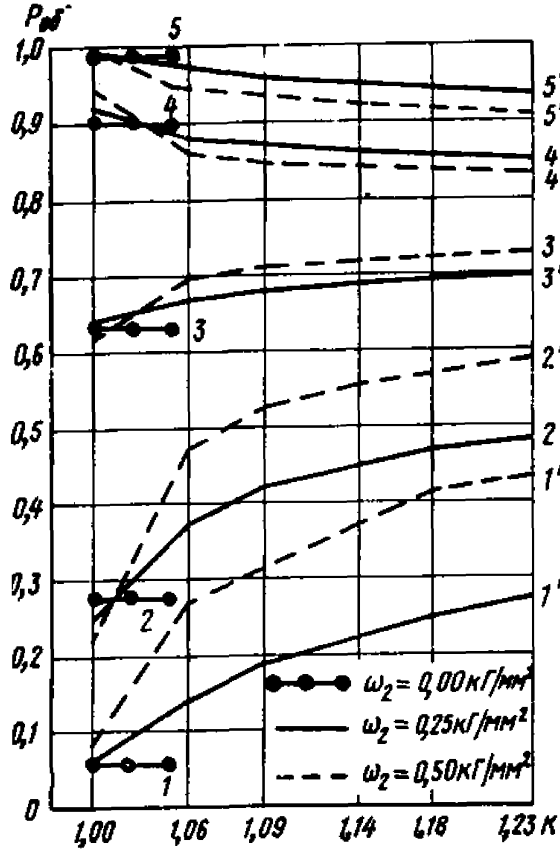

$P_{об}$
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
1,00
1,06
1,09
1,14
1,18
1,23 K
5
4
3
2
1
5'
5''
4'
4''
3''
3'
2''
2'
1''
1'
ω_2 = 0,00 кГ/мм²
ω_2 = 0,25 кГ/мм²
ω_2 = 0,50 кГ/мм²

Рисунок Б.4

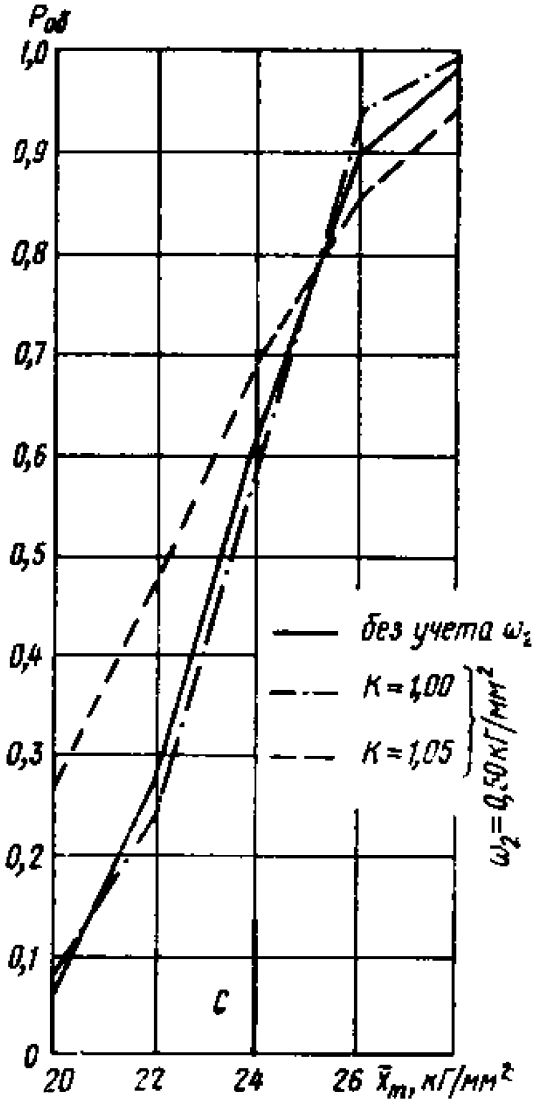

$P_{об}$
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
20
22
24
26
$\bar{x}_m$, кГ/мм²
без учета ω_2
K = 1,00
K = 1,05
ω_2 = 4,50 кГ/мм²
C

Рисунок Б.5

Горизонтальные линии на рисунке Б.5 проведены на уровне вероятностей, подсчитанных без учета рассеяния стандартов ($\omega_2 = 0$) частных совокупностей, а следовательно, и без учета разброса результатов контрольных испытаний (K =1,00).

Из анализа рисунков Б.4 и Б.5 следует, что в области реальных разбросов результатов контрольных испытаний (К = 1,00÷1,05) влияние σi как случайной величины на обеспеченность нормативного сопротивления несущественно при малых значениях (ω_2, но может стать довольно значительным при ее возрастании. Например, при ω_2 = 0,5 кГ/мм^2, $\overline{X_m}$= 24 кГ/мм^2 и К = 1,05 (рис. Б.5) искомая обеспеченность равна 0,70 против 0,63 для случая, не учитывающего рассеяния частных дисперсий.

Отметим, что при высоких значениях $\overline{X_m}$ рассеяние результатов контрольных испытаний (K > 1,00) снижает обеспеченность нормативного сопротивления (например, кривые 4', 4", 5' и 5", рисунок Б.4). Однако при более низких значениях $\overline{X_m}$ рассеяние результатов испытаний означает повышение искомой обеспеченности $P_{об}$.

Влияние корреляционной зависимости между средними арифметическими и стандартами частных совокупностей на обеспеченность нормативных сопротивлений иллюстрируется рисунком Б.6 Положительному значению коэффициента корреляции (R = 0,75) соответствует повышенная обеспеченность нормативных сопротивлений при высоких значениях $\overline{X_m}$ независимо от степени рассеяния результатов контрольных испытаний. Однако с понижением значений $\overline{X_m}$ при отсутствии рассеяния результатов испытаний (K = 1,00) более высокая обеспеченность соответствует отрицательно корреляционной связи между $\bar{x}i$ и σi.

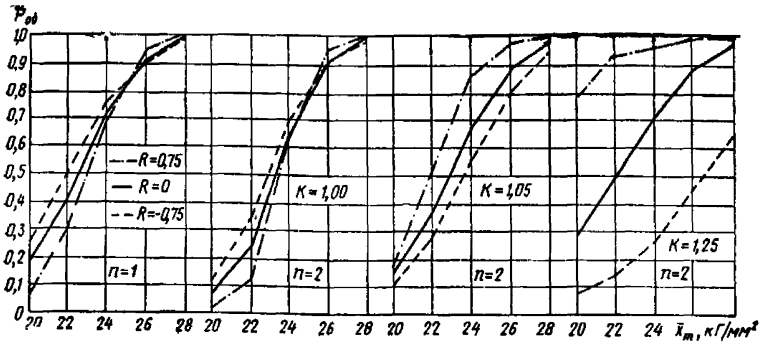


Рисунок Б.6

Рисунок Б.6 показывает влияние изменения среднеарифметического генеральной совокупности A_1 (рисунок Б.7, а), среднеарифметического частных стандартов A_2 (рисунок Б.7, б), среднеквадратического отклонения частных стандартов ω_2 (рисунок Б.7, г) на обеспеченность нормативных сопротивлений при одинаковом числе испытаний (n = 2) для различных значений $\overline{X_m}$ и К.

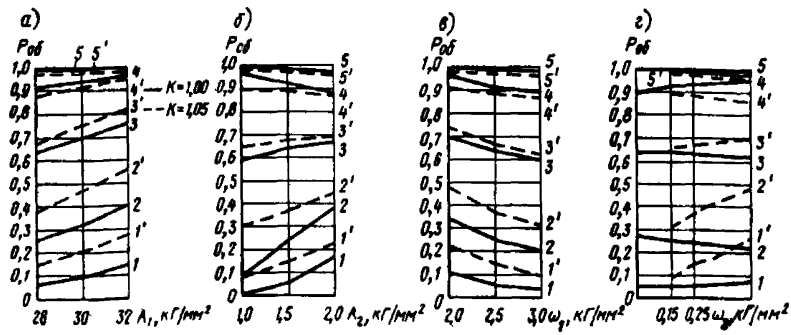


Рисунок Б.7

Как и следовало ожидать, с повышением значений A_1 при фиксированных значениях $\overline{X_m}$ и K обеспеченность нормативных сопротивлений возрастает (рисунок Б.7, а).

Рассеяние значений контрольных испытаний приводит к уменьшению $P_{об}$, если среднее значение результатов испытаний $\overline{X_m}$ заметно превышает браковочный минимум. В противном случае с увеличением разброса результатов испытаний и при фиксированных значениях прочих параметров искомая вероятность $P_{об}$ возрастает (рисунок Б.7, а).

Как видно из данных рисунка Б.7, б, в области низких значений $\overline{X_m}$ обеспеченность нормативных сопротивлений растет с увеличением среднего значения стандартов частных совокупностей при различной степени разброса результатов испытаний. Однако после того, как среднее значение результатов испытаний превзойдет браковочный минимум, наблюдается обратная тенденция.

С ростом среднеквадратического отклонения генеральной совокупности (рисунок Б7, в) обеспеченность нормативных сопротивлений падает во всем диапазоне средних значений результатов контрольных испытаний и разброса этих испытаний.

Зависимость искомой вероятности $P_{об}$ от рассеяния стандартов частных совокупностей имеет более сложный характер (рисунок Б.7, г). В случае, когда рассеяние результатов испытаний отсутствует ($K = 1$), обеспеченность нормативных сопротивлений слабо зависит от величины ω_2. Однако при увеличении разброса результатов контрольных испытаний эта зависимость имеет более четко выраженный характер, при этом в области низких значений $\overline{X_m}$ с увеличением ω_2 искомая обеспеченность возрастает, а при высоких значениях $\overline{X_m}$ наблюдается обратная картина.

Таким образом, влияние рассеяния дисперсий частных совокупностей позволяет дать оценку обеспеченности нормативных сопротивлений с учетом разброса результатов контрольных испытаний. Дисперсии частных совокупностей как случайные величины слабо влияют на величину

оцениваемой обеспеченности при отсутствии разброса в результатах испытаний. При наличии такого разброса обеспеченность нормативных сопротивлений существенно зависит от рассеяния дисперсий частных совокупностей.

Приведенный материал исследований подтверждает необходимость внесения в соответствующие строительные нормы требований по уровню обеспеченности нормативных показателей механических свойств строительных материалов и в первую очередь трубной продукции. Нормативные показатели должны определяться как функция от среднего значения генеральной совокупности, ее дисперсии, среднего значения дисперсии частных совокупностей партий и стандарта этих дисперсий для каждого завода. На основании анализа должна определяться воспроизводимость технологической системы производства продукции, состояние статистической управляемости как основа для выборочного контроля качества с нормативной обеспеченностью. Задача эта должна выполняться постоянно в рамках инспекции независимым органом по требованию заказчика. И в обязательном порядке для материалов, трубной продукции, предназначенных для опасных производственных объектов или сооружений повышенной категории ответственности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Стрелецкий. Работа стали в стальных конструкциях. Госстройиздат, 1956.

2. В. А. Балдин. Расчет стальных конструкций по расчетным предельным состояниям. Госстройиздат, 1956.

3. Б. И. Беляев. О расчетном сопротивлении углеродистой строительной стали. «Промышленное строительство», 1961, № 2.

4. Р. Г. Ароне. О методике оценки механических свойств стали на металлургических заводах с учетом статистических данных сдаточных испытаний. «Заводская лаборатория», 1970, № 4.

5. Р. Г. Ароне, М. Р. Урицкий. Обеспеченность нормативных и расчетных сопротивлений в строительных сталях. «Строительная механика и расчет сооружений», 1970, № 3.

gost.e-ecolog.ru