МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВЫКСУНСКИЙ ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(Выксунский филиал НИТУ «МИСИС»)

ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИОННАЯ РАБОТА

по программе профессиональной переподготовки

МЕТАЛЛУРГИЯ

на тему: Применение «Раскопок данных» для оценки неоднородности качества металлопродукции из стали 15ХСНД

Слушатель _____ _____ Д.В. Гаврилов
подпись *дата* *И.О. Фамилия*

Руководитель работы _____ _____ А.В. Кудря
подпись *дата* *И.О. Фамилия*

Нормоконтроль проведен _____ _____ Н.В. Холодова
подпись *дата* *И.О. Фамилия*

Консультант на соответствие ФГОС ВО 2 _____ _____ А.Н. Фортунатов
подпись *дата* *И.О. Фамилия*

Работа рассмотрена и допущена к защите

Директор Центра ДПОиПОР _____ _____ Э.Н. Корнеева
подпись *дата* *И.О. Фамилия*

Выкса *май* 2023г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВЫКСУНСКИЙ ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(Выксунский филиал НИТУ «МИСИС»)

ЗАДАНИЕ
на выполнение итоговой аттестационной работы

По программе профессиональной переподготовки Металлургия

Слушателю Гаврилову Даниилу Владимировичу
Ф.И.О. полностью

Тема итоговой аттестационной работы Применение «Раскопок данных» для оценки неоднородности качества металлопродукции из стали 15 ХСНД

Исходные данные (в том числе проектная и технологическая документация и основная литература)

1. Мельниченко А.С. Анализ данных в материаловедении. Часть 2. Регрессионный анализ : учебное пособие / Мельниченко А.С.. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2014 .
2. Сталь на рубеже столетий / Л.Н. Белянчиков [и др.].. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2001
3. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1998 .
4. Стали и сплавы. Марочник : справочник / [составители В.Г. Сорокин и др.] ; Под редакцией В. Г. Сорокина, М. А. Гервасьева. - Москва : Интермет инжиниринг, 2001 .

1 Перечень подлежащих разработке вопросов:

1.1 Общая часть

- Провести анализ массивов данных производственного контроля с целью выявления факторов, лимитирующих качество листовой стали 15ХСНД
- Оценить масштаб статистической неоднородности исследуемых объектов (базы данных) на основе построения гистограмм распределения значений управляющих и сдаточных свойств и определения значений коэффициенто асимметрии и эксцесса для листовой стали 15ХСНД
- Оценить стабильность технологического процесса во времени на основе построения хронологических рядов для листовой стали 15ХСНД

1.2 Расчетная часть Провести корреляционный анализ листовой стали 15 ХСНД

Перечень (примерный) иллюстрированного материала Презентация к докладу

2 Руководитель работы

Заместитель заведующего кафедрой металловедения и физики прочности**,**
д.т.н., профессор Кудря Александр Викторович _____ _____
должность, ученая степень, ученое звание, ФИО – полностью подпись

Дата выдачи задания «___» _____ 2023г.

Задание принял к исполнению слушатель _____ _____
подпись И.О. Фамилия

Содержание

ВВЕДЕНИЕ..... 4
1 Аналитический обзор литературы..... 5
1.1 Общая характеристика стали 15ХСНД..... 5
1.2 Основные составляющие качества металлопродукции..... 7
1.3 Применение информационных технологий для сбора данных в металлургии..... 10
1.4 Основы параметрической статистики для анализа данных..... 12
1.5 Выводы по аналитическому обзору литературы..... 20
1.6 Цель исследования..... 20
1.7 Постановка задач исследования..... 20
2 Материал и методика исследования..... 21
2.1 Материал исследования..... 21
2.2 Методика исследования..... 22
3 Результаты и обсуждение..... 23
3.1 Построение гистограмм распределения..... 23
3.2 Построение временных и хронологических рядов..... 25
3.3 Построение корреляционных матриц..... 27
3.4 Проведение регрессионного анализа..... 29
ВЫВОДЫ..... 31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... 32

ВВЕДЕНИЕ

Неоднородность качества металлопродукции может быть оценена путем проведения различных процедур исследования и анализа данных. Одним из таких инструментов является технология «раскопок данных». Она позволяет анализировать большие объемы данных с целью выявления и исследования скрытых закономерностей и паттернов. Эта технология может быть использована для оценки неоднородности качества металлопродукции из стали 15ХСНД.

Дипломная работа посвящена вопросу оценки неоднородности качества металлопродукции из стали 15ХСНД при помощи «раскопок данных». В данной работе будут рассмотрены причины неоднородности качества металлопродукции, сравнивая данные, полученные при помощи «раскопок данных» с данными, полученными при применении других методов исследования. При производстве металлопродукции из стали 15ХСНД необходимо оценивать неоднородность её качества. Неоднородность качества может быть вызвана влиянием различных причин, включая неправильное использование сырья, несоответствующее хранение и переработку, а также несоблюдение параметров процесса производства. Поэтому необходимо применять методы для оценки неоднородности качества металлопродукции из стали 15ХСНД.

Одним из методов является «раскопка данных» (Data Mining), который предлагает использование алгоритмов машинного обучения для анализа и интерпретации больших объёмов данных, полученных из различных источников. Таким образом, «раскопка данных» позволяет получить более детальную информацию о неоднородности качества металлопродукции из стали 15ХСНД. Для исследования были использованы данные, полученные при помощи «раскопок данных», включающие в себя основные характеристики стали 15ХСНД, а также предварительные результаты непосредственной оценки неоднородности качества металлопродукции.

Данные были проанализированы с помощью алгоритма машинного обучения и выявлены основные причины неоднородности качества металлопродукции. Результаты исследования показали, что наиболее частой причиной неоднородности качества металлопродукции из стали 15ХСНД является неправильное использование и переработка сырья. Также было выявлено, что при использовании «раскопок данных» для оценки неоднородности качества металлопродукции из стали 15ХСНД можно получить более детальную информацию о причинах неоднородности, чем при применении других методов исследования.

1 Аналитический обзор литературы

1.1 Общая характеристика стали 15ХСНД

В настоящее время металлургические предприятия придерживаются соответствовать мировым стандартам качества металлопродукции. Ведь конструкционная сталь обладает определёнными механическими свойствами, которая обеспечивает её надежную и длительную работу в разных эксплуатационных условиях.

Сталь – это многокомпонентный сплав, содержащий, кроме углерода, ряд постоянных примесей, которые и оказывают значительное влияние на свойства и, как следствие, качество стали. В углеродистой стали промышленного производства кроме основы – железа – содержится много химических элементов, наличие которых обусловлено технологическими особенностями производства (Mn, Si), либо трудоемкого неполного удаления их из металла (S, P, O, N, H), а также случайными примесями (Cr, Ni, Cu и другие). Несмотря на то, что легирующие элементы упрочняют сталь, они тем самым ухудшают обрабатываемость резанием, штампуемость, но в то же время положительно влияют на технологические свойства стали при термообработке.

Углерод является несомненно главным элементом в сталях. С повышением его содержания прочность и твердость стали возрастает, а пластичность и вязкость уменьшаются. Углерод также оказывает существенное влияние на технологические свойства стали: свариваемость, обрабатываемость резанием и давлением. Как следствие, для сварки лучше использовать низкоуглеродистую листовую сталь.

Содержание всех легирующих элементов колеблется в пределах от тысячных долей процента до 2,5 процентов, если речь, например, идет о низколегированных сталях. Легирующие элементы вводят с целью раскисления стали, улучшения механических свойств или выведения вредных примесей. В изучаемой стали основными легирующими элементами являются марганец и кремний.

Марганец вводят в сталь в основном для ее раскисления. Этот элемент имеет большее сродство к сере и образует тугоплавкие сульфиды, которые значительно снижают содержание серы в чистом виде. Марганец заметно влияет на повышение прочности стали в горячекатанных изделиях. Кремний также применяется как раскислитель для стали, но и еще он повышает предел текучести.

Сера и фосфор – главные и самые нежелательные примеси в любой стали. Их содержание стараются удерживать на минимальных значениях: для P – до 0,01 процента, для S – до 0,02-0,04 процентов. Сера не растворяется в железе и образует с ним сернистое соединение – сульфид железа FeS. Данный сульфид является эвтектикой, которая

располагается, как правило, по границам зерен, что делает сталь хрупкой в районе температур красного каления. По сравнению с другими «вредными» элементами сера не повышает, а понижает порог хладноломкости, хотя и понижает ударную вязкость при вязком изломе. Кремний как легирующий элемент в сталях содержится в количестве 0,5-0,6 % и более. Сталь, легированная кремнием, обладает более высокими значениями предела текучести, упругости, ударного сопротивления, небольшим остаточным магнетизмом, хорошей прокаливаемостью, жароупорностью, способностью в закаленном состоянии сохранять твердость при относительно высоких температурах и другими полезными свойствами. Кремнием легируют стали различного назначения: конструкционные (0,8-1,5% *Si*), инструментальные (1,2-1,6% *Si*); пружинно-рессорные (1,3-2,0% *Si*), жаро- и окалиностойкие (2,0-3,0% *Si*), динамно-трансформаторные (2,5-4,5 % *Si*) и др. Обычно сталь легируют кремнием в сочетании с другими примесями, чаще всего в сочетании с хромом и марганцем [1].

Хром широко используется в качестве легирующей примеси, особенно в сочетании с никелем и некоторыми другими элементами: более 80 % марок легированных сталей в том или ином количестве (от 1-2 % в низколегированных до 25-30 % в высоколегированных) содержат хром. Однако в некоторых сталях хром является нежелательной примесью, и его содержание обычно ограничивают пределами 0,15-0,2%. В канатной стали содержание хрома должно быть не более 0,05-0,1 %, так как при более высоких содержаниях наблюдается ухудшение пластичности стали, что приводит к уменьшению срока службы канатов.

Хром, обладая сравнительно высоким химическим сродством к кислороду, в сталеплавильных ваннах окисляется довольно интенсивно, особенно при умеренно низких температурах начала плавки. Оксиды хрома и их соединения имеют высокую температуру плавления (1800-2000 °С) и ограниченную растворимость в сталеплавильных шлаках. Поэтому при значительном содержании хрома в исходной металлической шихте (чугуне или ломе) получаются гетерогенные, малоподвижные, склонные к пенообразованию шлаки, резко ухудшающие условия ведения плавки, особенно в мартеновских печах, где нагрев металла осуществляется через слой шлака. В связи с этим имеются пределы допустимого содержания хрома в исходной шихте не только в случае производства стали, в которой хром является нежелательной примесью, но и при производстве легированной хромом стали. Эти пределы зависят от конкретных условий ведения плавки.

Характер взаимодействия алюминия с различными элементами исключает возможность образования непрерывных твердых растворов трех компонентов с участием алюминия. Этот вывод можно сделать на основании того, что ни с одним из элементов

алюминий не образует непрерывных твердых растворов. Добавление третьего компонента может привести к уменьшению количества интерметаллических фаз и ограничению области их существования [2].

1.2 Основные составляющие качества металлопродукции

Качество продукции – это совокупность её свойств, обеспечивающих пригодность продукции удовлетворять определённые потребности в соответствии с её назначением. Оно фиксируется на конкретный период времени и изменяется при появлении более прогрессивной технологии.

Основными показателями качества металла являются:

- химический состав,
- микро- и макроструктура,
- основные и технологические свойства,
- размеры, геометрия и качество поверхности металлопродукции.

Требования к качеству металла и продукции из него оговорены в национальных стандартах, технических условиях фирм (предприятий) или отдельных соглашениях между потребителем и поставщиком. Качество металла и надежные методы определения его основных показателей являются главными в технологической цепи производства.

На данный момент в металлургии отличительной особенностью производственного процесса является протяженность технологического процесса, которая появилась за счет увеличения сортамента и потребностей в металлопродукции. Число операций в техпроцессе преимущественно зависит от назначения продукции. Операции характеризуют ряд параметров, таких как плавка, раскисления и разливка, переплав (если на данный момент он имеется).

Параметр значения, который измеряется в рамках каждого техпроцесса, в основном своей управляемости составляют от 100 параметров процесса и выше [1]. Данные параметры всегда проходят регистрацию в реальном времени и фиксируются в паспортах техпроцессов (сопроводительных паспортах) или на электронных ресурсах металлургического предприятия.

Качество готовой продукции характеризуется от десяти и более выходных параметров (таких как механические свойства, структура, излом и т.д.), уровень ограничения задается нормативными документами сверху или снизу [2].

Механические свойства стали:

Для использования металлоконструкций используют сплав железа с углеродом (до 2,14 %) и другими углеродами - называется сталь.

Главным образом получают из смеси чугуна со стальным ломом в кислородных конверторах, электропечах, мартеновских печах. Данный сплав железа с углеродом, содержит более 2,14 % углерода называется чугуном.

Для строительных сооружений, машин и инструмента которые не склоны к коррозии и теплостойкости используют конструкционный материал, который составляет 99 % всей стали [3].

Его главные качества:

- прочность (способность выдерживать при работе достаточные напряжения),
- пластичность (способность выдерживать достаточные деформации без разрушения как при производстве конструкций, так и в местах перегрузок при их эксплуатации),
- вязкость — способность поглощать работу внешних сил, препятствуя распространению трещины.

Прочностные характеристики:

- предел текучести σ_m или $\sigma_{0,2}$ (МПа) — напряжение при начале пластического течения, на которое ориентированы все расчеты конструкций, и предел прочности $\sigma_в$ (МПа) - наибольшее сопротивление деформации (при дальнейшем растяжении образец сужается с образованием шейки, так что его сопротивление падает). На предел прочности ориентированы расчеты сопротивления деформации при холодной обработке давлением.

- Относительное удлинение δ (%) и относительное ψ (%) описывают предельную возможную пластическую деформацию к моменту разрушения. Эти характеристики важны для деформируемости материала при прокатке, гибке, штамповке, правке.

-Твердость при вдавливании (стального шарика — по Бринелю НВ или по Роквеллу HRB, алмазного конуса — по Роквеллу HRC или пирамиды — по Виккерсу HV) – простейшая характеристика сопротивления большим деформациям.

-Ударная вязкость суммирует работу изгиба надрезанного образца при ударе и работу распространения трещины в нем.

От состава и структуры зависят, механические свойства. Легирование и термическая обработка – способ повышения механических характеристик стали [4].

Факторы влияющие на качество стали

Основным показателем качества металлопродукции является химический состав, так как сталь может иметь в себе малая доля количества примесей. За счет чего в качестве легирующих элементов чаще всего используют хром, никель, ванадий, марганец, кремний и др. Хром является важным легирующим элементом. С помощью углерода и хрома, образуются различного состава карбиды. Твердый структурный состав имеют все карбиды.

При наличии высокого содержания хрома в стали увеличивается износостойкость и твердость, также способствует прокаливаемости [4].

Для удаления из состава стали серы и кислороды, применяют марганец. Его содержание составляет до 1,5 % в стали. Имея способность образования аустенита, расширяет аустенитную область диаграммы состояния.

Повышая предел упругости, твердость и прочность, снижается сопротивление к разрыву в стали благодаря марганцу.

Ванадий применяется в сталеплавильной промышленности. Он основан на высоком влияние небольших добавок на свойства железных сплавов.

При введении в сталь повышается вязкость, прочность, износоустойчивость металла и сопротивление усталости, а небольшие добавки ванадия способствуют повышению предела текучести стали и увеличению отношения предела текучести к пределу прочности [5].

Никель является способствующим элементом к образованию сохранения аустенита. Он повышает упрочняемость сталей.

Никель с хромом повышает способность к термическому упрочнению, также повышают вязкость и усталость прочности, увеличивает сопротивление коррозии хромоникелевых сталей в неокисляющих кислотных растворах [5].

Кремний считается основным раскислителем. Его используют при выплавки сталей. Кремний полностью растворяется в феррите при содержании кремния до 0,3 %, при этом увеличивает прочность феррита и не снижает его пластичности.

Легирующие элементы с одной стороны увеличивают прокаливаемость и снимают порог хладноломкости тем самым, а с другой стороны повышают порог хладноломкости растворяясь в феррите. Поэтому мнение не однозначное [5].

Чтобы получить нужную термическую обработку конструкционных сталей, надо учитывать такие способы, которые способны уменьшаться в минимальной степени пластические и вязкие свойства.

Применяя закалку с последующим отпуском, позволяет увеличить прочностные свойства при хорошей пластичности.

Для конструкционных сталей применяют упрочняющую термическую обработку – Закалка + отпуск (низкий или высокий). Низкая пластичность, значительные внутренние напряжения не допускают применения конструкционной стали только в закаленном состоянии. В конструкционных сталях обычного состава содержание легирующих элементов таково, что становится возможной закалка в масле [6].

Необходим отпуск, повышающий пластичность и вязкость и уменьшающий внутренние напряжения.

Отпуск — завершающая операция термической обработки конструкционной стали, окончательно формирующая ее свойства.

1.3 Применение информационных технологий для сбора данных в металлургии

В статье Воробьёва Д. А. и Кудри А.В. «Использование приемов когнитивной графики при «раскопках данных» баз данных производственного контроля в металлургии» отмечается, что качественная неоднородность готовой продукции – является результатом многообразия сценариев эволюции дефектов, структур в рамеах хорошо отлаженного технологического процесса [11].

Авторы приводят следующие данные: в базе данных по стали 17Г1С-У,

Даны три исследуемых листа, три испытания соответствуют по ударной вязкости. Далее возникает вопрос о выборе наиболее информативных значений, и нужно ли третье испытание в целом.

После проведения результат показал, что третьего значение ударной вязкости , только затруднит дальнейший анализ.

Сокращенные значения до двух, ударной вязкости , дает возможность оценить размах значений ударной вязкости, и также дает оценить степень неоднородности качества металлопродукции. Оценка по среднему, в отличие размаха, зачастую не дает достоверного уровня неоднородности, поскольку для одинаковых значений среднего, значение размаха может отличатся на порядок.

В целом опыт использования разнообразных приемов когнитивной графики при «раскопках данных» производственного контроля в металлургии показал их высокую эффективность во всем процессе анализа данных.

Автор отмечает так же, что результатом ретроспективного анализа может быть ограничение или смещение поля допуска для некоторых из управляющих параметров процесса, которое приведет к повышению однородности качества продукта (без изменения технологии по существу) .

Ретроспективный анализ данных контроля процесса и продукта – это пассивный эксперимент в K-мерном пространстве параметров процесса, что много дешевле активного эксперимента [12]

Это сквозной анализ длинной последовательности технологических операций: от исходных материалов до конечного продукта. Его цели – непрерывное управление качеством, выявление узких мест производства. Практика работы с базами данных производственного контроля показала неэффективность классической статистики.

В металлургии отсутствует единое поле параметров, и поле допуска обычно делится на несколько областей, где различны сами типы зависимости. Отсюда, в частности, неэффективность регрессии и контрольных карт Шухарта [13].

Подобласти с разным типом доминирующей зависимости находят либо разбиением многомерных пространств параметров по известному типу результата, либо проверяя гипотезы сложными эвристическими приемами когнитивной графики [14].

Информационные технологии быстрее всего обновляемы, и они должны дать систему сквозного управления технологическим циклом, когда в рамках конкретной технологической эпохи можно поднять однородность качества за счет нелокального адаптивного управления: «поименно» каждой плавкой и слитком, «в реальном времени».

В настоящее время перспектива управления качеством продукции связывается некоторыми исследователями с использованием нейросетей [15].

Для моделирования в основном используются численные методы. Иногда время выполнения задачи является ограничением, например, для АСУ [16].

Искусственная нейросеть сама не может принимать решения, она может лишь делать выводы на основе тех данных, которые у неё имеются и в пределах тех моделей, на решение которых она запрограммирована. Конечно, время обработки данных и принятия решений значительно сокращается, но, если будет предложена новая задача, нейросеть уже с ней не сможет справиться. Необходимо сначала человеку решить эту задачу, обучить этому машину и лишь после этого искусственная нейросеть сможет их решать и регулировать технологический процесс в соответствии с новой моделью [17].

1.4 Основы параметрической статистики для анализа данных

Цель статистического исследования состоит в задачи отыскать определенные закономерности в событиях массового характера, каждое из которых по отдельности имеет достаточно случайное проявление. Для достижения этой цели используется специальные статистические приемы, основанные на реализации так называемого выборочного изучения [5].

Анализ временных рядов

Анализ временных рядов - это семейство методов для изучения совокупности наблюдений, сделанных последовательно во времени. Методы анализа временных рядов используют в следующих прикладных задачах:

- обнаружение запаздывания типичных фрагментов графика при статистическом исследовании коррелированности каждого наблюдения с непосредственно предшествующим ему наблюдением для каждого следующего один за другим периода запаздывания;

- обнаружение типичных фрагментов графика, которые являются циклическими или сезонными, для исследования причинных факторов в прошлом, которые могут повлиять на будущее;

- применение статистических методов для прогнозирования будущих наблюдений или для анализа причинных факторов, которые внесли наибольший вклад в изменения временного ряда [4].

Анализ временных рядов используют для описания фрагментов данных временного ряда, для выявления выбросов (т.е. экстремальных значений, достоверность которых должна исследоваться), а также для анализа и внесения изменений, для обнаружения поворотных точек в тренде. Другое использование заключается в совместном анализе фрагментов одного временного ряда с фрагментами других временных рядов и решении задач регрессионного анализа.

Анализ временных рядов используют для прогнозирования будущих значений временных рядов, обычно с заданными верхними и нижними пределами, называемыми "интервалом прогноза". Этот интервал широко используют в задачах управления и часто применяют в автоматизированных процессах. В этом случае вероятностную модель привязывают к предшествующим временным рядам, прогнозируют будущие значения и затем определенные параметры процесса корректируют таким образом, чтобы поддерживать процесс в заданных границах с минимально возможными вариациями.

Методы анализа временных рядов могут быть полезны в планировании, в разработке систем управления, в обнаружении изменений в процессе, в прогнозировании и измерении результатов внешнего воздействия.

Методы временных рядов могут обеспечивать понимание моделей типа "причина - следствие". Существуют методы для отделения систематических (или неслучайных) причин и для разбиения диаграмм временного ряда на циклические, сезонные и тренд-компоненты.

Анализ временных рядов часто полезен для понимания того, как процесс будет вести себя в указанных условиях и какое регулирование (если оно возможно) может направить процесс на достижение цели или какое регулирование может уменьшить изменчивость процесса.

Ограничения и предостережения, описанные для регрессионного анализа, в той же мере относятся к анализу временных рядов. При моделировании процесса для понимания причин и следствий, выбора наиболее адекватной модели и использования средств диагностики для улучшения модели требуется существенный уровень квалификации.

Включение или невключение в анализ отдельных наблюдений или их небольшой совокупности может оказать значительное влияние на модель. Поэтому значимые наблюдения должны быть выделены и освобождены от выбросов в исследуемой группе данных.

В зависимости от диаграмм временных рядов и количества временных периодов, для которых делается прогноз, могут применяться различные методы оценки. При выборе модели следует рассматривать цель анализа, особенности данных, относительные затраты, аналитические характеристики и характеристики прогноза различных моделей.

Анализ временных рядов применяют для изучения диаграмм выполнения работы за какое-то время, например измерений процесса, несоответствий, производительности, результатов испытаний и данных рекламаций.

Коэффициент асимметрии и эксцесса

Любое реальное распределение можно изобразить схематически в виде кривой, воспроизводящей основные особенности данного распределения.

Под кривой распределения понимается графическое изображение в виде непрерывной линии изменения частот, функционально связанных с изменением вариант.

Элементами распределения являются:

- варианта
- частота

В зависимости от вида кривых, изображающих распределение, выделяют несколько основных типов распределения:

- одновершинные
- многовершинные

К одновершинным относятся те, в которых один, обычно центральный вариант, имеет наибольшую частоту (плотность распределения). Частоты же остальных вариантов убывают по мере удаления от центрального.

Если частоты убывают слева и справа от центрального значения одинаково, то такие распределения называются **симметричными**.

Если частоты убывают слева и справа от центра распределения с разной скоростью, то такие распределения называют **асимметричными**.

Многовершинные распределения — это распределения, в которых несколько центров, т. е. такие, у которых несколько максимумов частот.

Для однородных совокупностей, как правило, характерны одновершинные распределения.

Многовершинность распределения свидетельствует о неоднородности изучаемого явления. В этом случае необходимо произвести перегруппировку данных с целью выделения более однородных групп.

Выяснение общего характера распределения предполагает, наряду с оценкой его однородности, вычисление показателей **асимметрии** и **эксцесса**.

Кривые распределения бывают:

- симметричными
- асимметричными.

В зависимости от того, какая ветвь кривой распределения вытянута, различают:

- правостороннюю асимметрию
- левостороннюю асимметрию.

Корреляционные анализ и построение корреляционных матриц

Коэффициент корреляции (R) характеризует наличие только линейной связи между признаками, обозначаемыми, как правило, символами X и Y. Формула расчёта коэффициента корреляции построена таким образом, что, если связь между признаками имеет линейный характер, то R точно устанавливает тесноту этой связи. Поэтому он называется также коэффициентом линейной корреляции.

Линейный коэффициент корреляции характеризует степень линейной взаимосвязи между двумя выборками, рассчитывается по формуле:

где $\bar{x}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} x_i$, $\bar{y}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$, $r_{xy}=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})\cdot(y_i-\bar{y})}{(n-1)\cdot S_x\cdot S_y}$, (1)

S_x^2, S_y^2 – выборочные дисперсии:

$$S_x^2=\frac{\sum(x_i-\bar{x}_i)^2}{N-1}, \quad S_y^2=\frac{\sum(y_i-\bar{y}_i)^2}{N-1}$$

Коэффициент линейной корреляции обладает следующими свойствами:

1. Коэффициент корреляции симметричен относительно случайных величин X и Y, то есть $r_{xy}=r_{yx}$ (в связи с этим индексы xy и yx обычно опускают).

2. Абсолютная величина коэффициента корреляции не превышает единицу: $-1 \le r \le 1$. При $-1 < r < 0$ возрастание одной случайной величины приводит к уменьшению другой случайной величины. Такая корреляция называется отрицательной. При $0 < r < 1$ увеличение одной случайной величины сопровождается увеличением другой. В этом случае говорят о положительной корреляции.

3. Если случайные величины X и Y независимы, то r = 0.

4. Равенство $|r|=1$ имеет место только при линейной функциональной зависимости между X и Y: Y = aX+b.

5. Коэффициент корреляции случайных величин *X* и *Y* не зависит от выбора начала отсчета и единиц измерения этих случайных величин.

6. Квадрат коэффициента корреляции называется коэффициентом детерминации и показывает, какая доля вариации (изменчивости, вариабельности) переменной Y объясняется линейной зависимостью Y от X.

При описании корреляционной зависимости используют следующие условные градации:

$0 < \|r\| < 0{,}2$	Очень слабая зависимость	$0{,}7 \le \|r\| < 0{,}9$	Сильная зависимость
$0{,}2 \le \|r\| < 0{,}4$	Слабая зависимость	$0{,}9 \le \|r\| < 1$	Очень сильная зависимость
$0{,}4 \le \|r\| < 0{,}7$	Средняя зависимость		

Величина коэффициента линейной корреляции не может превышать +1 и быть меньше, чем –1. Эти два числа +1 и –1 являются границами для коэффициента корреляции.

Если при расчёте получается величина, большая +1 или меньшая –1, то произошла ошибка в вычислениях.

При анализе производственных или опытно-промышленных данных фиксируется сразу несколько свойств – характеристик качества материалов и большое число факторов – параметров технологического процесса. Исходные данные для корреляционного анализа представляют таблицу с достаточно большим числом столбцов – факторов и свойств.

По такой таблице можно рассчитать три вида парных коэффициентов корреляции: корреляции внутри группы факторов, корреляции внутри группы свойств, корреляции между свойствами и факторами.

Анализ корреляционной матрицы свойств преследует несколько целей. Он дает представление о системе связей свойств данного материала. На основании этого можно выделять группы взаимозависимых свойств. Можно также классифицировать материалы и предлагать содержательные модели, объясняющие эти зависимости. На этапе лабораторных или опытно-промышленных исследований можно, выделить несколько ведущих свойств, по которым методами регрессионного анализа предсказывать остальные без измерения последних. Можно, наконец, определить минимальное число свойств, достаточных для характеристики данного материала, которые в дальнейшем и контролировать.

Корреляционные связи между параметрами технологии (факторами) отражают особенности технологии, точнее, тех конкретных условий, в которых получены анализируемые данные. Большая корреляция между парой факторов – следствие их взаимосвязанного изменения. Чем ближе абсолютная величина коэффициента корреляции к единице, тем меньше дополнительной информации в одном из двух коррелированных факторах. Для любых видов анализа удобнее и информативнее независимо изменяющиеся, некоррелированные факторы. Взаимные корреляции факторов необходимо учитывать при разработке моделей влияния факторов на свойства.

Анализируя корреляционные матрицы, следует помнить, что результаты корреляционного анализа не являются абсолютными. Они относятся только к исследуемой совокупности данных и верны только внутри интервалов варьирования факторов. В частности, близкий к нулю парный коэффициент корреляции между свойством и фактором необязательно означает, что фактор вообще не влияет на свойство. Варьирование фактора в узких границах не приведет к значительному изменению свойства и большому коэффициенту корреляции свойства с фактором, но результат, возможно, изменится, если расширить интервал варьирования фактора [3].

Регрессионный анализ

Регрессионный анализ связывает поведение исследуемой характеристики (обычно называемой "переменной отклика") с потенциально причинными факторами (обычно называемыми "независимыми переменными"). Такие соотношения определяются моделью, которую разрабатывают на основе научных, экономических, инженерных или других исследований. Цель регрессионного анализа состоит в том, чтобы помочь понять потенциальную причину вариаций в отклике и объяснить, насколько влияет на эту вариацию каждый фактор. Это достигается установлением статистических связей вариации переменной отклика с вариациями независимых переменных и получением лучшей согласованности путем минимизации отклонений между предсказанным и фактическим откликом [4].

Регрессионный анализ позволяет:

- проверять гипотезы относительно влияния независимых переменных на отклик и использовать эту информацию для оценок изменений в отклике при заданном изменении независимой переменной;
- предсказывать значения переменной отклика при заданных значениях независимых переменных;
- предсказывать (с заданным уровнем доверия) интервал значений, в котором будет находиться ожидаемое значение отклика при заданном значении независимой переменной;
- оценивать направление и степень связи между переменной отклика и независимой переменной (хотя такая связь не означает причинную зависимость). Такая информация может использоваться для определения влияния изменения одного фактора (например, температуры) на выходные характеристики процесса, в то время как другие факторы остаются постоянными.

Регрессионный анализ может обеспечить понимание соотношений между различными факторами и наблюдаемым откликом. Такое понимание может помочь в принятии решений, связанных с изучаемым процессом, и будет способствовать улучшению процесса.

Регрессионный анализ позволяет в сжатом виде представлять данные отклика, сравнивать различные, но связанные наборы данных и анализировать потенциальные отношения "причина - следствие". Регрессионный анализ позволяет оценить относительные величины влияния независимых переменных, а также относительный вклад этих переменных. Эта информация очень важна при управлении или улучшении выходных характеристик процесса.

Регрессионный анализ обеспечивает определение оценки величины и источника влияний на отклик, вызванных факторами, которые или не измерены, или не исследовались

при анализе. Эта информация может использоваться для совершенствования системы измерения или управления процессом.

Регрессионный анализ может использоваться для прогнозирования значений переменной отклика при заданных значениях одной или более независимых переменных, а также для прогнозирования влияния изменений независимых переменных на полученный или предсказанный отклик. При решении ряда задач проведение таких исследований может быть полезно для оценки эффективности предполагаемых действий.

При моделировании процесса требуется навык в построении модели регрессии (линейной, показательной, многомерной) и использовании диагностики для улучшения модели. Наличие неучтенных переменных, погрешностей измерений и других источников необъясненных вариаций отклика может усложнить моделирование. Какой метод оценки является подходящим для регрессионного анализа, определяется предположениями, лежащими в основе рассматриваемой регрессионной модели, и характеристиками имеющихся данных.

Включение или невключение в анализ единичного наблюдения или их небольшой группы может оказать влияние на оценку отклика. Поэтому наблюдения, влияющие на результаты, должны быть освобождены от случайных выбросов, т.е. от экстремальных значений, пригодность которых для анализа должна быть исследована.

Регрессионный анализ используют для моделирования таких характеристик производства, как объем производимой продукции, производительность, качество исполнения, временной цикл, вероятность отказов при испытании или контроле, а также различных видов несоответствий в процессах. Регрессионный анализ используют, чтобы выявить наиболее важные факторы в таких процессах, а также величину и характер их вклада в исследуемые характеристики.

Непараметрическая статистика и когнитивная графика

Гистограмма – это один из графических методов исследования в непараметрической статистике рядов распределения значений случайной величины. Гистограмма представляет собой набор столбцов различной высоты, содержащей в себе определенное количество данных исходя из интервала значений, который определяется заранее из общего числа данных. Гистограмма позволяет определить вид распределения, а также такие параметры как коэффициенты асимметрии и эксцесса. Коэффициент асимметрии показывает меру смещения гистограммы вправо или влево относительно самого высокого пика. Коэффициент эксцесса в свою очередь характеризует остроту этого пика. Пример гистограммы для нормального распределения приведен на рисунке 1.

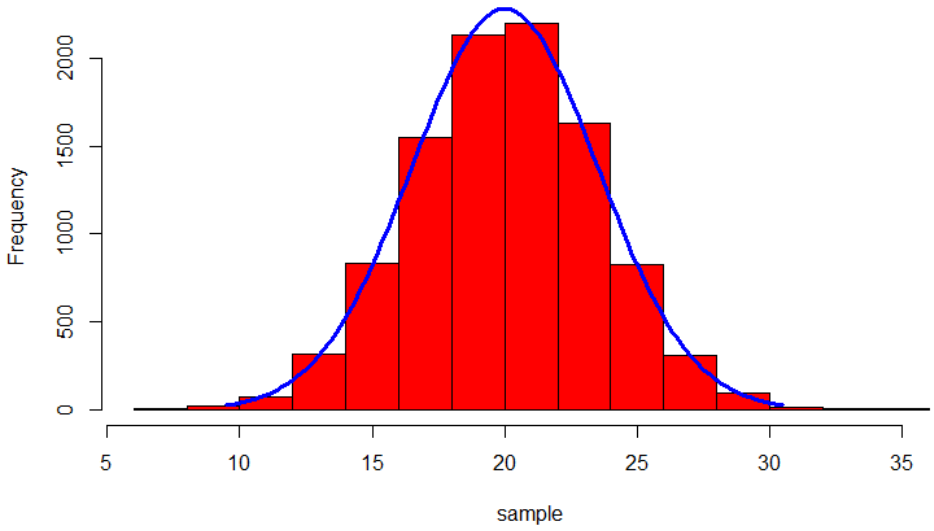


Рисунок 1 – Вид гистограммы для нормального распределения

Когнитивная графика – это совокупность приемов и методов образного представления условий задачи, которое позволяет либо сразу увидеть решение, либо получить подсказку для его нахождения [5].

Использование когнитивной графики еще не получило широкого применения в металлургии, в связи с чем представляет интерес оценка их практических возможностей.

Методы когнитивной графики позволяют выявить наиболее информативные характеристики для анализа, дать оценку неоднородности, показать низкую эффективность классических методов и положительный результат для поиска существенных закономерностей в системе «управляющие параметры – свойства». Но также следует отметить, что успешное применение этих приемов основывается на понимании природы анализируемого объекта и выборе адекватных статистических процедур [6].

1.5 Выводы по аналитическому обзору литературы

Качество производства металлопродукции в современном производстве контролируется опытно развитой и организованной системой измерения, сбора и анализа информации по определённой технологической цепочке. Для получения однородной по качеству стали нужно соблюдать все требования технологии производства, но даже при соблюдении всех норм возникает большой разброс сдаточных параметров (прочности, вязкости, пластичности и других). Это в первую очередь связано с отсутствием в металлургии единого пространства параметров.

Рассмотрены основные факторы, влияющие на качество стали:

- влияние вредных примесей и наличие легирующих элементов;
- влияние термической и механической обработки;
- влияние различных структурных составляющих.

Показана перспективность использования методов обработки баз данных в металловедении. Разработка средств измерений и контроля, современных программных продуктов и рост доступных вычислительных мощностей дают новые возможности понимания природы прочности, пластичности и вязкости, и как следствие новые рычаги управления качеством металлопродукции.

1.6 Цель исследования

Целью исследования является оценить неоднородность качества стали различного сортамента при помощи статических методов обработки баз данных производственного контроля.

1.7 Постановка задач исследования

1. Провести анализ массивов данных производственного контроля с целью выявления факторов, лимитирующих качество листовой стали 15ХСНД.
2. Оценить масштаб статистической неоднородности исследуемых объектов (базы данных) на основе построения гистограмм распределения значений управляющих и сдаточных свойств и определения значений коэффициенто асимметрии и эксцесса для листовой стали 15ХСНД.
3. Оценить стабильность технологического процесса во времени на основе построения хронологических рядов для листовой стали 15ХСНД.
4. Провести корреляционный анализ листовой стали 15ХСНД.

2 Материал и методика исследования

2.1 Материал исследования

Объектом исследования является база данных стали 15ХСНД, в которой 39 плавок выплавлялось в кислородном конвертере, в свою очередь из которых было получено 298 партий листа. Анализ проводился между управляющими параметрами химического состава стали, содержащего следующие химические элементы: C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Cu,Al, N, As; и сдаточными характеристиками: пределом прочности ($\sigma_в$) и пределом текучести ($\sigma_{0,2}$). При этом значения пределов текучести и прочности стали были получены в ходе двух испытаний.

В таблицах 1 и 2 приведены химический состав и механические свойства стали 15ХСНД соответственно.

В ходе исследования базы данных были проведены корреляционный и регрессионный анализы и найдены коэффициенты корреляции, эксцесса, ассиметрии и другое. Построены гистограммы распределения химических элементов и характеристик прочности; временные и хронологические ряды, показывающие изменения управляющих и сдаточных параметров во времени и от плавки к плавке; корреляционные матрицы параметров: управляющих с управляющими, сдаточных со сдаточными и управляющих со сдаточными; когнитивные графики, показывающие взаимное влияние пар химических элементов на прочностные свойства стали.

Работа по обработке и визуализации необходимых данных осуществлялась с помощью программы Microsoft Office Excel 2016.

Таблица 1 – **Химический состав в % стали 15ХСНД** [7]

	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
ГОСТ 6713-91	0,12 - 0,18	0,4 - 0,7	0,4 - 0,7	0,3 - 0,6	до 0,04	до 0,035	0,6 - 0,9	до 0,008	0,2 - 0,4	до 0,08
База Данных	0,14- 0,19	0,56- 0,75	0,55- 0,75	0,49- 0,60	0,001- 0,016	0,004- 0,019	0,78- 0,88	-	0,29- 0,38	-

Марка стали 15ХСНД используется на нефтехимических предприятиях для создания шлемов колонн аппаратов высокого давления и в качестве змеевика в печах для обжига нефтехимических продуктов. Эта сталь поставляется в виде листов и труб определенного диаметра, которые прокатываются на специальных волках и свариваются в трубы. Затем эти трубы нарезаются по шаблону под определенным углом, чтобы получить изогнутый участок, который будет использоваться как шлем колонны.

Благодаря своему составу и свойствам сталь легко сваривается и практически не имеет дефектов после сварки.

2.2 Методика исследования

Работа и преобразование базы данных проводились с помощью программы Microsoft Office Excel 2020.

Проведены исследования за счет описательной статистики, корреляционного анализа и литейных графиков, которые заключаются в нахождении параметров классической статистики: коэффициенты корреляции, эксцесса, асимметрии и другое. При сравнении данных, также, построены гистограммы распределения x параметров. Также в ходе анализа рассчитана корреляционная матрица.

3 Результаты и обсуждение

3.1 Построение гистограмм распределения

На первом этапе работы с базой данных необходимо провести сортировку данных по способу выплавки (конвертер) и далее отдельно для управляющих характеристик по плавкам. Каждая партия металла обладает идентичным химическим составом в одной отдельной плавке, но разными значения сдаточных параметров. В таблице 3 и 4 приведены данные по полученным выборкам соответсвенно для управляющих и сдаточных параметров.

Таблица 3 – Характеристики управляющих свойств, листовой стали 15ХСНД

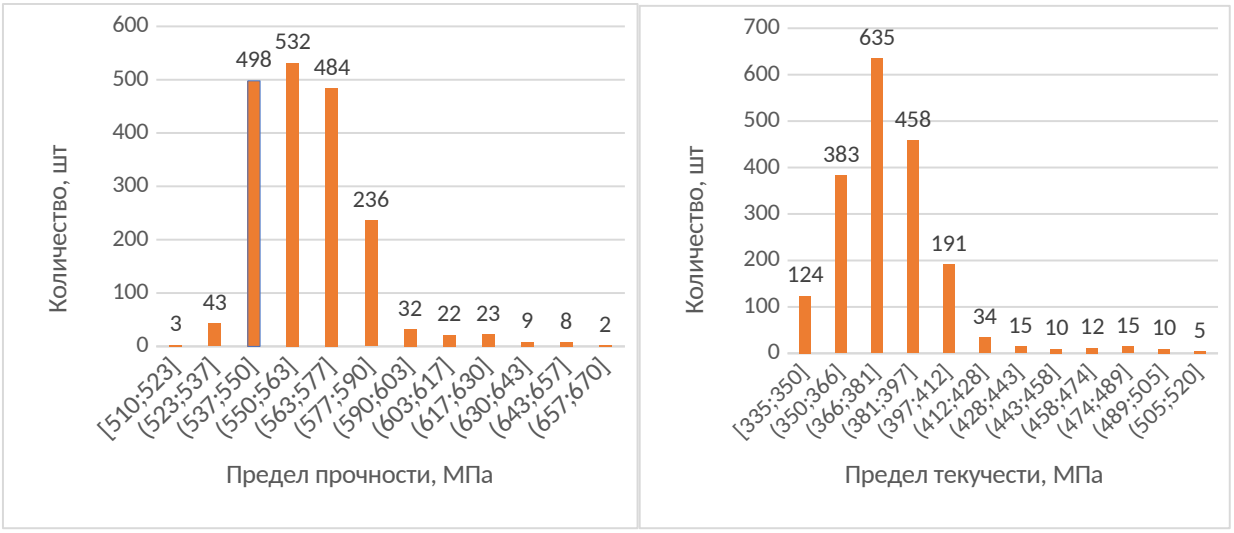
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	AS
Среднее значение xср	0,17	0,63	0,62	0,008	0,005	0,84	0,53	0,32	0,08	0,01
Минимальное значение xмин	0,14	0,56	0,55	0,004	0,001	0,78	0,49	0,29	0,04	0,00
Максимальное значение xмакс	0,19	0,75	0,75	0,019	0,016	0,88	0,60	0,38	0,12	0,01
Размах выборки Δx	0,05	0,19	0,20	0,015	0,015	0,10	0,11	0,09	0,08	0,01
Коэффициент асимметрии *As*	0,10	0,21	0,86	1,270	1,015	-0,37	0,66	0,59	0,31	0,32
Коэффициент эксцесса *Ex*	0,18	0,58	5,30	2,308	1,004	0,36	1,02	1,57	-0,26	1,35

Таблица 4 – Характеристики сдаточных параметров стали 15ХСНД

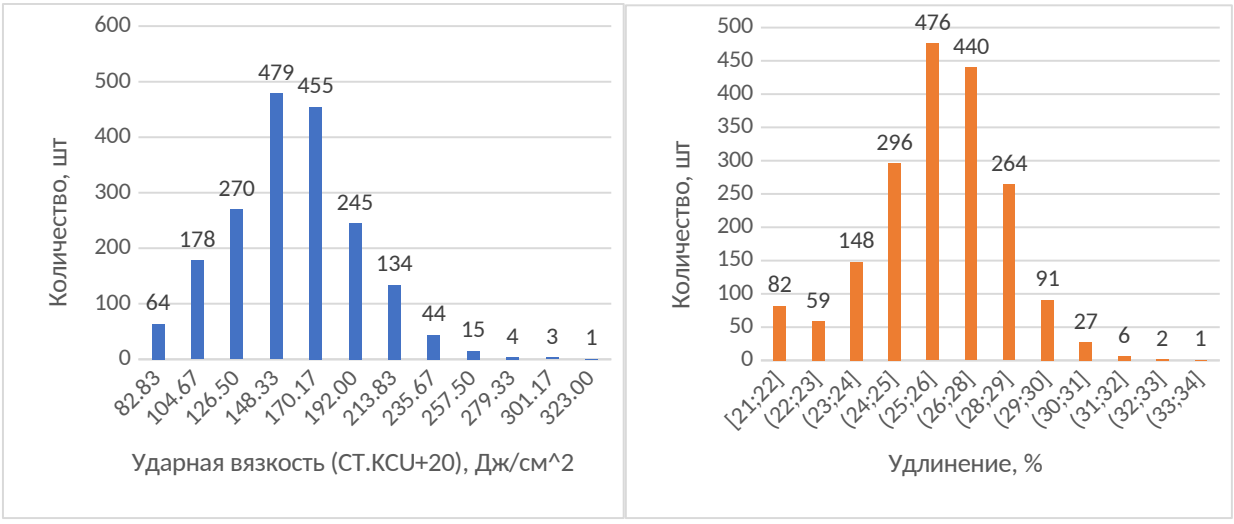
	σ_B, МПа (1 испытание)	σ_B, МПа (2 испытание)	$\sigma_{0,2}$, МПа (1 испытание)	$\sigma_{0,2}$, МПа (2 испытание)	δ, % (1 испытание)	δ, % (2 испытание)	KCU^{-60}, Дж/см^2	Ст.KCU^{+20}, Дж/см^2
Среднее значение xср	564,16	564,69	380,83	380,93	239,67	192,47	160,05	168,67
Минимальное значение xмин	510	350	335	335	21	21	68	61
Максимальное значение xмакс	670	680	520	520	34	34	365	323
Размах выборки Δx	160	330	185	185	13	13	297	262
Коэффициент асимметрии As	1,53	0,71	2,08	2,12	14,41	16,36	0,67	0,25
Коэффициент эксцесса Ex	4,97	14,57	7,68	8,09	205,77	265,99	1,37	0,56

Сравнивая таблицы 1 и 3 можно сказать, что химический состав стали 15ХСНД соответствует нормативной документации; 2 и 4 – прочностные свойства также находятся на уровне необходимых значений.

На основе данных таблиц 3 и 4 можно сделать вывод виде распределения управляющих и сдаточных параметров. Поскольку нормальным распределением является распределение с коэффициентами ассиметрии и эксцесса равнымы 0, то данные распределения нельзя считать нормальными, что подтверждают соответствующие диаграммы, представленные на рисунке 2. Наиболее близкое к нормальному является распределение Cu, однако по соответствующей гистограмме распределения (рисунок 2 (г)) утверждать, что оно действительно является нормальным, довольно трудно.



а) б)



в) г)

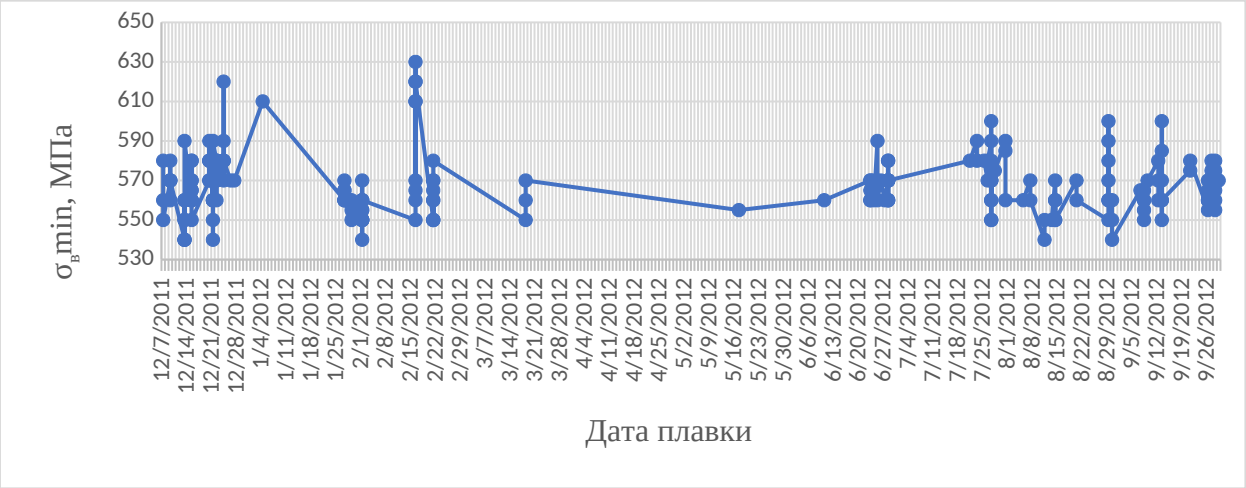
а) $\sigma_в$, МПа; б) $\sigma_в$, МПа; в) Ст.KCU^{+20}, Дж/см^2; г) δ, %.

Рисунок 2 – Гистограммы распределения значений управляющих и сдаточных параметров стали 15ХСНД

Анализ гистограмм позволяет сделать вывод о том, что большинство из них ассиметричны, также на некоторых присутствует бимодальность и так называемые «хвосты», как левые так и правые.

3.2 Построение временных и хронологических рядов

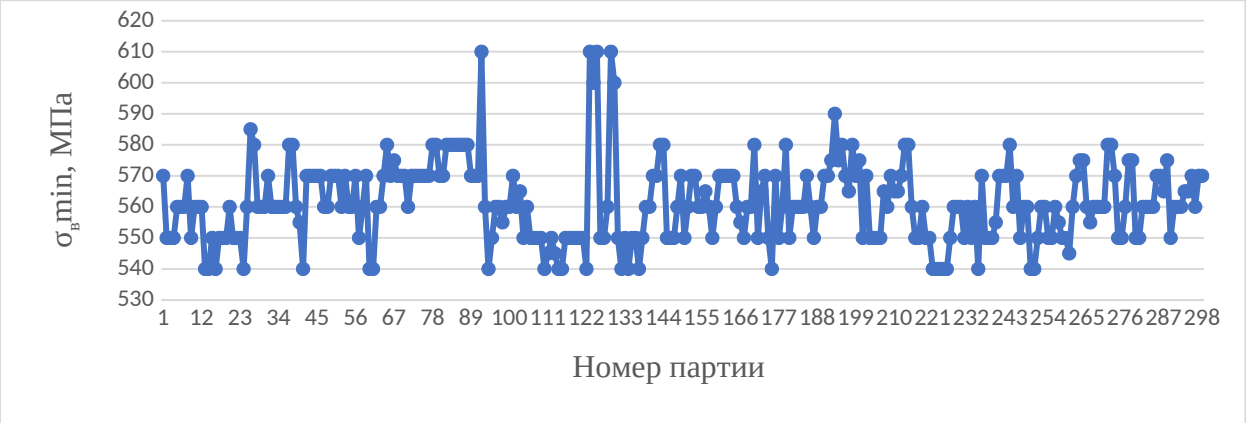
Неоднородность прочности стали 15ХСНД может быть связана с наличием сезонных колебаний. Для того чтобы проверить их наличие или отсутствие были построены временные и хронологические ряды для минимальных и максимальных значений $\sigma_в$ и $\sigma_{0,2}$. Примеры таких рядов представлены на рисунке 3 для предела прочности.



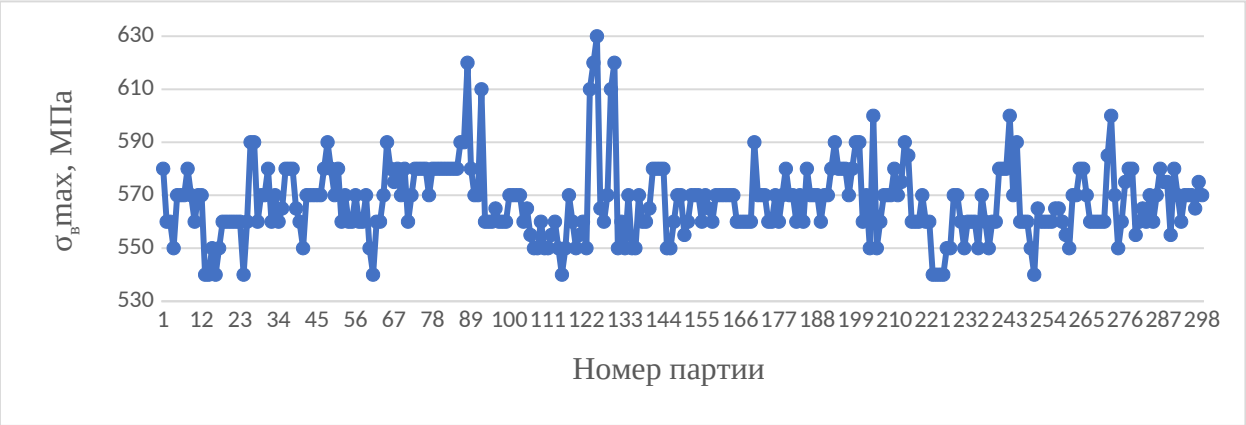
а)



б)



в)



г)

а) $\sigma_в$min (временной); б) $\sigma_в$max (временной); в) $\sigma_в$min (хронологический); г) $\sigma_в$max (хронологический)

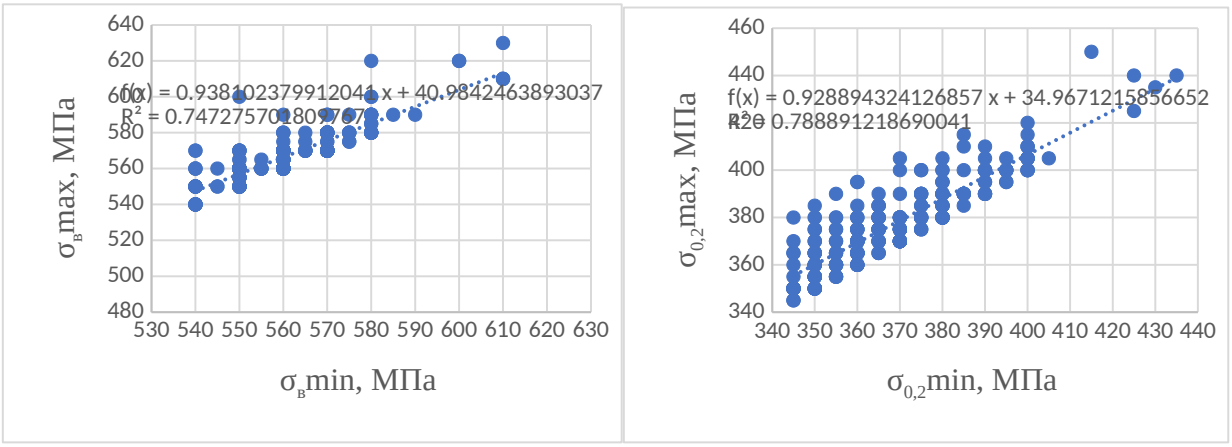
Рисунок 3 – Временные и хронологические ряды предела прочности стали 15ХСНД

На временных рядах наблюдаются промежутки времени (до полутора месяцев), когда данная сталь не выпускалась, при этом повторный выпуск ознаменовывался как пониженными так и повышенными прочностными свойствами. Чаще всего большой разброс значений прочности происходил в один день (зачастую в одной плавке), что свидетельствует о наличии отклонений в технологии производства. Стоит также отметить, что в первой половине временных рядов разброс значений прочности был больше, чем в последующей части.

На хронологических рядах визуально прослеживаются колебания значений прочности примерно каждые 20-40 партий, когда в заданном интервале например от локального минимума σ достигает локального максимума и снова стремится к предыдущему минимуму. Таким образом предполагается наличие сезонных колебаний.

Пределы прочности и текучести, как было отмечено выше, имеют два значения: минимальное и максимальное, поэтому также необходимо определить относительно каких

значений стоит проводить последующий анализ. На основании зависимости максимальных значений параметров прочности от минимальных и коэффициентов детерминации R^2 (рисунок 4), были выбраны минимальные значения прочности как худшие априори, поскольку между ними наблюдается сильная связь (коэффициент корреляции R > 0,8) .



а) б)

а) $\sigma_в$; б) $\sigma_{0,2}$

Рисунок 4 – Соотношение значений максимальных и минимальных значений прочности для всех партий

По данным графикам можно проследить изменение содержания каждого химического элемента во времени. В целом изменения содержания химических элементов не значительны (сотые и тысячные доли процента), тем не менее тенденции к росту или спаду были обнаружены.

Влияние химического состава на характеристики прочности может быть описано с помощью соответствующей корреляционной матрицы.

3.3 Построение корреляционных матриц

Корреляционные матрицы управляющих и сдаточных параметров представлены в таблицах 5-7.

Таблица 5 – «Управляющие – Управляющие»

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	AS
C	1,00	0,12	0,06	0,01	-0,03	0,06	0,11	0,00	0,04	-0,04
Si	-	1,00	0,22	0,06	-0,08	0,06	0,12	0,02	-0,09	-0,12
Mn	-	-	1,00	0,07	-0,19	0,06	0,14	0,11	-0,11	-0,13
P	-	-	-	1,00	0,17	0,01	0,02	0,00	0,11	-0,07
S	-	-	-	-	1,00	0,04	0,00	0,02	0,11	0,16
Cr	-	-	-	-	-	1,00	0,04	0,12	0,12	0,15
Ni	-	-	-	-	-	-	1,00	0,24	-0,04	-0,04
Cu	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,08	0,02
Al	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,10
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00

Из таблицы 5 можно сделать вывод, что весь химический состав не имеет связи между собой, и не имеет влияние отдельного элемента на друг друга.

Таблица 6 – «Сдаточные – Сдаточные»

	$\sigma_в$, МПа (1 испытание)	$\sigma_в$, МПа (2 испытание)	$\sigma_{0,2}$, МПа (1 испытание)	$\sigma_{0,2}$, МПа (2 испытание)	δ, % (1 испытание)	δ, % (2 испытание)	KCU^{-60}, Дж/см^2	Ст.KCU^{+20}, Дж/см^2
$\sigma_в$, МПа (1 испытание	1,00	0,82	0,74	0,71	-0,40	0,20	0,06	0,08
$\sigma_в$, МПа (2 испытание)	-	1,00	0,69	0,73	-0,34	0,17	0,06	0,08
$\sigma_{0,2}$, МПа (1 испытание)	-	-	1,00	0,86	-0,27	0,23	0,07	0,05
$\sigma_{0,2}$, МПа (2 испытание)	-	-	-	1,00	-0,31	0,23	0,06	0,05
δ, % (1 испытание)	-	-	-	-	1,00	-0,11	0,06	0,06
δ, % (2 испытание)	-	-	-	-	-	1,00	0,05	0,01
KCU^{-60}, Дж/см^2	-	-	-	-	-	-	1,00	0,79
Ст.KCU^{+20}, Дж/см^2	-	-	-	-	-	-	-	1,00

Примерно такая же связь наблюдается между сдаточными характеристиками прочности и текучести (R=0,69<0,7), тем не менее нельзя утверждать, что между ними есть прямая зависимость.

Таблица 7 – Корреляция между «Управляющими и Сдаточные» параметрами

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	AS
$\sigma_в$, МПа (1 испытание	0,12	0,04	0,10	0,04	-0,14	0,01	0,01	0,06	0,10	0,01
$\sigma_в$, МПа (2 испытание)	0,12	0,06	0,09	0,03	-0,14	0,01	-0,01	0,05	0,08	-0,01
$\sigma_{0,2}$, МПа (1 испытание)	-0,02	-0,07	-0,01	0,03	-0,03	-0,02	-0,07	0,03	0,11	0,04
$\sigma_{0,2}$, МПа (2 испытание)	-0,03	-0,07	-0,01	0,03	-0,03	-0,02	-0,07	0,03	0,11	0,04
δ, % (1 испытание)	-0,06	0,02	-0,04	-0,03	-0,07	-0,05	0,03	-0,07	-0,02	-0,03
δ, % (2 испытание)	-0,05	-0,07	0,01	-0,03	-0,01	-0,05	-0,01	-0,05	0,00	-0,03
KCU^{-60}, Дж/см^2	-0,13	-0,09	0,07	-0,12	-0,38	0,00	-0,01	-0,03	-0,02	-0,01
Ст.KCU^{+20}, Дж/см^2	-0,12	-0,05	0,06	-0,09	-0,31	-0,06	0,00	-0,02	-0,02	-0,05

Из таблицы 7 можно сделать вывод, что весь химический состав не имеет связи с характеристиками прочности и оценить влияние отдельного элемента не представляется возможным.

3.4 Проведение регрессионного анализа

Регрессионный анализ заключался в построении модели которая описывает влияние на один сдаточный параметр всего химического состава сразу. При этом определялась наилучшая модель, в которой не учитывались химические элементы, оказывающие наименьшее влияние [8]. Исключая таким образом раз за разом по одному элементу и рассчитывая заново коэффициенты регрессии, R^2 и множественный коэффициент корреляции R, были получены наилучшие регрессионные модели для пределов прочности и текучести, представленные в виде уравнений 1 и 2 соответственно.

$$\sigma_в min = 393 + 314 * C - 313 * Si + 215 * Mn - 1048 * P - 209 * S + \\ + 78{,}4 * Cr - 76{,}2 * \mathrm{Ni} + 58{,}5 * Cu + 4827 * As \quad (1)$$

$$\sigma_{0,2} min = 258 + 450 * C - 192 * Si + 188 * Mn - 704 * P - 453 * S + \\ + 43{,}1 * Cr - 18{,}4 * \ni + 30{,}9 * Cu + 2546 * As \quad (2)$$

Исходные модели, учитывающие весь химический состав представлены в уравнениях 3 и 4 соответственно для предела прочности и текучести.

$$\sigma_в min = 392 + 318 * C - 114 * Si + 215 * Mn - 1052 * P - 212 * S + \quad (3)$$
$$+ \ 78{,}5 * Cr - \ 75{,}8 * \mathrm{Ni} + 59{,}2 * Cu - 5{,}11 * Al + 0 * N + 4804 * As$$

$$\sigma_{0,2} min = 259 + 444 * C - 191 * Si + 187 * Mn - 699 * P - 450 * S + \quad (4)$$
$$+ \ 42{,}9 * Cr - 18{,}8 * \ni + 30 * Cu + 7 * Al + 0 * N + 2577 * As$$

Коэффициенты регрессии в уравнениях 1 и 2 показывают увеличение (знак «плюс») или снижение (знак «минус») значения прочности в процентах при увеличении концентрации элемента на 1%. Коэффициенты R и R^2, которые равны 0,536 и 0,287 для $\sigma_в$min и 0,379 и 0,144 для $\sigma_{0,2}$min показывают слабую зависимость управляющих и сдаточных параметров, поэтому описать влияние химического состава на характеристики прочности методом регрессионного анализа также не представляется возможным.

Исходные уравнения 3 и 4 регрессионных моделей пределов прочности и текучести фактически учитывают на один химический элемент больше (Al), поскольку N имеет коэффициент регрессии равный нулю. При этом коэффициенты R и R^2 исходных моделей аналогичны коэффициентам наилучших моделей.

ВЫВОДЫ

1 Показано, что гистограммы распределения значений управляющих параметров и характеристик качества листовой стали 15ХСНД не соответствуют виду, характерному для нормального распределения данных. При этом значения коэффициентов асимметрии и эксцесса изменяются от -0,37 до 2,12 и от -0,26 до 14,57 соответственно.

2 Построены корреляционные матрицы, в целом показывающие отсутствие какой-либо значимой связи между значениями управляющих и приемо-сдаточных параметров.

3 Проведен регрессионный анализ и определены наилучшие модели для $\sigma_в$min и $\sigma_{0,2}$min, из которых вытекает, что влияние химического состава на колебания значений пределов текучести и прочности не значимо: коэффициенты детерминации R и R^2 равны 0,536 и 0,287 для $\sigma_в$min и 0,379 и 0,144 для $\sigma_{0,2}$min соответственно.

4 Из полученных результатов следует, что применение процедур классической статистики для выявления существенных связей между колебаниями значений управляющих параметров (в пределах поля допуска технологии) и свойствами листовой стали 15ХСНД является не эффективным вследствие особенностей их распределения и отсутствия единого пространства параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. М.Ю. Беломытцев. Механические свойства металлов. Ч. 1. Твердость. Прочность. Пластичность: Лаб. практикум. – М.: МИСиС, 2007. – 140 с.;
2. Бигеев А.М. Металлургия стали / А.М. Бигеев. М.: Металлургия, 1977. 440 с.;
3. Мельниченко А.С. Анализ данных в материаловедении. Часть 1. М.: Издательский дом МИСиС, 2013. – 72 с.
4. ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005 Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001. – М.: Изд-во Стандартинформ, 2005. – 46 с.;
5. А.А. Башлыков. Образное представление состояния сложных технологических объектов управления // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – №3. – С. 9-18;
6. Д. А. Воробьев , А. В. Кудря. Использование приемов когнитивной графики при «раскопках данных» баз данных производственного контроля в металлургии. – 2017. М.: МИСиС, 2007. – 4 с.;
7. ГОСТ 6713-91. Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения. Переизд. Сент. 2009. – М.: Стандартинформ, 2009;
8. А.С. Мельниченко. Статистический анализ в металлургии и материаловедении: Учеб. − М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. – 268 с.