

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет: Инженерно-физический
Кафедра: Стартовые и технические ракетные комплексы
Направление подготовки 24.03.01 – Ракетные комплексы и космонавтика
Направленность (профиль) образовательной программы – Ракетно-космическая техника

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зам. зав. кафедрой
В.В. Соловьев
« 15 » июня 2022 г

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Прогнозирование ресурса металлических конструкций транспортно-установочного оборудования

Исполнитель
студент группы 817-об

Романенко 09.06.22
(подпись, дата)

А.С. Романенко

Руководитель
канд. тех. наук, доцент

Соловьев 09.06.22
(подпись, дата)

В. В. Соловьев

Консультант по БЖД:
канд. тех. наук, доцент

Козырь 09.06.22 г.
(подпись, дата)

А. В. Козырь

Нормоконтроль
ассистент кафедры СиТРК

Аревкин 09.06.22
(подпись, дата)

М. А. Аревкин

Благовещенск 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АМГУ»)

Факультет: Инженерно-Физический

Кафедра: Стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ

Зам. зав. кафедрой

В. В. Соловьев

« 16 » 05 2022 г.

ЗАДАНИЕ

к выпускной квалификационной работе студента Романенко Анастасии Сергеевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: Прогнозирование ресурса металлических конструкций транспортно-установочного оборудования.

утверждена приказом от 05.04.2022 г. №679-уч

2. Срок сдачи студентом законченного проекта: 08.06.2022 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: экспериментальные данные распространения ультразвуковой волны при растяжении стали 10ХСНД.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): прогнозирование ресурса, безопасность жизнедеятельности, экономический расчет.

5. Перечень материалов приложения (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) сопоставление фактических и прогнозируемых значений.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): БЖД Козырь Аркадий Валентинович, доцент, канд. тех. наук.

7. Дата выдачи задания 26.05.2022 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Соловьев Владислав Викторович, доцент, кандидат тех. наук.

Задание принял к исполнению (дата): Роман 26.05.2022

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 63 страниц, 23 таблицы, 12 рисунков, 13 источников.

РЕГРЕССИЯ, МОДЕЛЬ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, КОРРЕЛЯЦИЯ, РЕЗУЛЬТАТИВНЫЙ ПРИЗНАК, АВТОРЕГРЕССИЯ

В работе исследованы методы прогнозирования остаточного ресурса, теория авторегрессии, методы регрессионного анализа, метод прогнозирования авторегрессии.

Целью работы – построить прогнозные значения остаточного ресурса металлических конструкций транспортно–установочного оборудования.

Задачи:

- провести анализ существующих методов прогнозирования;
- изучить методы прогнозирования;
- изучить теорию авторегрессии;
- провести расчет прогноза ресурса.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ	8
1.1 Методы и способы создания модели прогнозирования состояния объекта.....	11
1.2 Регрессионный анализ. Основные понятия.....	11
1.3 Виды регрессионного анализа.....	12
1.3.1 Парная (простая) линейная регрессия.....	12
1.3.2 Множественная регрессия.....	12
1.4 Множественная линейная регрессия: модель.....	13
1.5 Общий подход к построению модели множественной регрессии	14
1.5.1 Определение регрессионных стандартных коэффициентов (β -коэффициентов), объяснение их назначений и построение уравнения множественной регрессии в стандартном виде.....	15
1.5.2 Определение параметров уравнения, объяснение их значений и построение уравнения множественной регрессии в стандартной форме.....	16
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО–МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ 10ХН8Д.....	18
3 МЕТОД АВТОРЕГРЕССИИ.....	24
3.1 методика расчета авторегрессии.....	24
4 РАСЧЕТ ПРОГОЗА СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ, ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ.....	27
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙ.....	50
5.1 Требования к параметрам воздушной среды.....	51
5.2 Требования к освещению помещений и рабочих мест.....	52
5.3 Требования к производственному оборудованию.....	53

5.4 Требования к размещению производственного оборудования и организации рабочих мест пользователей компьютеров	54
5.5 Режимы труда и отдыха при работе с компьютером.....	55
5.6 Требования к применению коллективных средств защиты.....	56
6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	61
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	62

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБООЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

ВДТ – видеодисплейный терминал;

ВР – временной ряд;

ВЧ – высоко частотный;

ПАВ – поверхностно-активное вещество;

ПЭВМ — персональная электронно вычислительная машина

ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь;

РКН – ракета космического назначения;

СВЧ – сверх высоко частотный;

ТУО – транспортно-установочное оборудование;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

ЭО – энергетическом оборудовании.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортно-установочное оборудование (ТУО) используется для транспортировки ракет космического назначения (РКН) на пусковое устройство для последующего запуска или снятия РКН при несостоявшемся пуске. На ТУО также могут быть возложены функции монтажно-стыковочного оборудования, средства стыковки коммуникаций, средства обслуживания, пускового оборудования и т.п. К конструкции ТУО предъявляются необходимые требования для предотвращения его отказа.

Прогнозирование – это процесс разработки прогноза, в ходе которого специальными методами обрабатывается информация о состоянии объекта прогнозирования с целью получить представления о его дальнейшем изменении.

Величина остаточного ресурса изделия определяется временем наступления предельного состояния испытываемого изделия после выработки им части ресурса.

Целью работы – построить прогнозные значения остаточного ресурса металлических конструкций транспортно–установочного оборудования.

Задачи:

- провести анализ существующих методов прогнозирования;
- изучить методы прогнозирования;
- изучить теорию авторегрессии;
- провести расчет прогноза ресурса.

1 ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

В основу прогнозирования остаточного ресурса закладывается способ наблюдения за состоянием объекта, а также измерения его технических параметров, которые изменяются в течении времени его эксплуатации. В нормативной документации фиксируется перечень контролируемых параметров, которые определяют остаточный ресурс изделия. Для любого из этих параметров определяется область ограниченных значений, называемая предельной, преодоление которой и определяет ресурс изделия. Прогноз данного ресурса подразумевает рассмотрение единого механизма изменения всех наблюдаемых параметрах. На определение остаточного ресурса влияют следующие данные: параметры режима эксплуатации или испытаний, характеристики материалов в геометрических размерах и других априорные значения.

Для инженерных расчетов используется различные методы прогнозирования, одним из которых является экстраполяционный метод прогнозирования.

Суть данного метода заключается в анализе массивов наблюдения, описывающих изменение диагностируемого параметра за определенный промежуток времени. Эта особенность придает данному методу универсальность. Так как сам по себе метод независим от физической природы объекта.

В аналогии с этим методом, прогноз развития состояния ЭО заключается в последовательном проведении следующих этапов:

- выбор оптимального параметра с сильной причинно-следственной взаимосвязью с деградацией состояния ЭО;
- получение результатов измерения выбранного параметра за определенный промежуток времени, т.е. формирование ВР;
- экстраполяция – применение установленного закона для определения прогнозируемого значения параметра приращении времени;

– с помощью аппроксимации временного ряда можно определить закон изменения параметра во времени и оценить статистические характеристики случайных отклонений, обусловленных флуктуациями процесса и погрешностями измерений;

– на основе статических характеристик ВР, рассчитывается вероятность случайной погрешности прогноза.

При всем выше сказанном аппроксимация ВР предполагает проведение следующих трех последовательных операций:

– выбор типа аппроксимирующей функции (математической модели);
– определение численных значений ее коэффициентов (к примеру, методом наименьших квадратов);

– оценка адекватности математической модели исходному ВР и интерпретируемости по отношению к наблюдательному процессу.

Преимуществом экстраполяционного метода прогнозирования состоит в том, что для его реализации не нужно проводить предварительные исследования состояния исследуемого предмета. Для создания прогноза необходим интервал времени для предварительного мониторинга за предметом прогноза, в течение которого осуществляется скопление временного ряда, именно в этом заключается недостаток данного. Малые колебания диагностируемого показателя, при постоянном изменении во времени делают этот метод эффективным, но только в этом случае. Из-за отсутствия контроля условий эксплуатации, накладываются ограничения для корректной реализации экстраполяционного метода, что делает возможным использование только однорежимными объектами или объектами, у которых частота изменения режимов существенно выше частоты замеров параметра, в результате чего воздействия режима удается снизить использованием интегрального сглаживания временного ряда.

Данное условие позволяет рассматривать его актуальность, а также проведение улучшения экстраполяционного алгоритма с целью приспособления его к мониторингу многорежимных объектов.

При корректировка временного ряда используется метода Эйлера. Одной из отличительных черт данного алгоритма наблюдения диагностического показателя, используемого в однопараметрическом методе прогнозирования, представляет собой расчет времени проведения следующего измерения на основе анализа уже накопленного временного ряда. В случае использования этого алгоритма с помощью средств автоматизированной системы диагностирования она именно в эти моменты времени и будет проводить измерения диагностического параметра и дополнять полученными результатами временной ряд.

Для оценки работоспособности оборудования с принятием во внимание возможное изменений режимов его использования в работе возможно предположить существенно иной методический подход, предполагающий фиксирование истории эксплуатационных нагрузений и дальнейший расчет эквивалентной наработки и остаточного ресурса на основе гипотезы линейного суммирования повреждений.

Суть этого метода в том, что вместо экстраполяции временного ряда полученных значений диагностического показателя будет произведена оценка темпа развития дефекта.

Реализация данного метода предполагает последовательное выполнение следующих этапов:

- экспериментальное определение регрессионной математической модели, связывающей темп накопления эксплуатационных повреждений с режимными параметрами;
- задание предполагаемого на прогнозируемый период графика изменения во времени режимов эксплуатации объекта;
- вычисление с помощью регрессионной модели накоплений эксплуатационных повреждений на каждом из планируемых режимов и оценка суммарного повреждения в течение прогнозного периода;
- оценка остаточного ресурса путем сопоставления вычисленного и предельно допустимого изменений технического состояния объекта.

Данный метод подходит для объектов с тем или иным характером изменения режимов, и для его реализации не нужен подготовительный интервал накопления данных за времена эксплуатации объекта. Только необходимым условием использования метода является реализация предварительных исследований характера разрушающего процесса для того, чтобы получить необходимые зависимости интенсивности развития эксплуатационных повреждений от режимов эксплуатации объекта, что не всегда возможно [1].

1.1 Методы и способы создания модели прогнозирования состояния объекта

При прогнозировании используются прогнозные модели. Прогнозная модель – это модель исследуемого объекта прогнозирования, представленной в математической форме.

Для построения прогнозных моделей в основном используют следующие методы, а именно статические и структурные методы.

Статические методы – это методы, основанные на использовании количественной информации о поведении и состоянии исследуемого объекта. Они состоят из следующих методов:

- регрессионный анализ;
- метод экстраполяции на основе среднего значения временного ряда;
- метод экспоненциального сглаживания;
- метод скользящей средней;
- метод авторегрессии.

Структурные модели прогнозирования основаны на использовании теории графов, к ним относят:

- цепи Маркова;
- кластерный анализ.

1.2 Регрессионный анализ. Основные понятия

Регрессионный анализ – это область статического анализа направленного на изучение зависимости изменений переменных от одной или переменных (факторов).

Основной принцип работы регрессионного анализа заключается в построении уравнения регрессии. Под линией регрессии подразумевается линия, образованная точками средних значений, сгруппированных по определенным признакам-факторам, влияющих на изучаемую переменную.

1.3 Виды регрессионного анализа

1.3.1 Парная (простая) линейная регрессия.

Простая линейная регрессия предоставляет возможность определить линию регрессии, которая более выгодно показывает наиболее вероятные значения одной переменной на основании другой.

Модель парной регрессии имеет вид:

$$y = \alpha + \beta x + u, \quad (1)$$

где y – зависимая переменная (объясняемая), x – независимая переменная (объясняющая), α , β - параметры модели, u – случайная ошибка.

Константу α называют свободным членом, а угловой коэффициент β - регрессионным коэффициентом.

1.3.2 Множественная регрессия.

Множественная регрессия является расширением простой линейной регрессии, а также представляет собой уравнение связи с несколькими независимыми переменными:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_p), \quad (2)$$

где y – зависимая переменная (результативный признак), x_1, x_2, \dots, x_p – независимые переменные (факторы).

С помощью множественной регрессии можно определить множество факторов для достижения результата, но из множества факторов невозможно выделить один доминирующий фактор и необходимо учитывать влияние нескольких факторов.

1.4 Множественная линейная регрессия: модель

На формирование объясняемой переменной y воздействует ряд других переменных. Эти переменные называют признаками или факторами регрессии x_1, x_2, \dots, x_k .

Модель множественной регрессии имеет вид:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k, \quad (3)$$

где $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ - параметры модели.

Каждая переменная x позволяет провести оценку влияния коэффициента регрессии на значение переменной y в том случае, когда неизменность всех прочих переменных не влияют на нее.

Уравнение для оценки модели множественной регрессии с k объясняющими (независимыми) факторными признаками имеет вид:

$$\hat{y}_i = a + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_k x_{ki} + \varepsilon_i, \quad (4)$$

где \hat{y}_i - теоретическое (предсказанное) значение результативного (зависимого) признака при i - м наблюдении, $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ - значения факторных (независимых) признаков для i - ого наблюдения, a - точечная оценка свободного члена (сдвиг), b_1, b_2, \dots, b_k - точечные оценки коэффициентов чистой (частной) регрессии, ε_i - случайный остаток в i - м наблюдении, равный $(y_i - \hat{y}_i)$.

Наилучшие оценки, проводимые по выборке объема m , получается при минимизации суммы квадратов остатков между фактическим и прогнозируемым

значением зависимой переменной. Для вычисления коэффициентов оценки регрессии $(b_0, b_1, b_2, \dots, b_m)$, применяя метод наименьших квадратов [3].

1.5 Построение модели множественной регрессии

Решение задачи по определению возможности использования факторных признаков x_1, x_2, \dots, x_k в уравнении множественной регрессии, а также по определению наиболее существенных факторных признаков, влияющих на величину результативного признака, сводится к построению модели.

При формировании уравнения множественной регрессии, основанной на качественном анализе, нужно провести отбор факторных признаков, которые существенно влияют на результативный признак.

После этого анализ дополняется количественными оценками. Для определения тесноты связи вычисляется парные коэффициенты корреляции:

1) парные (линейные) коэффициенты корреляции, описывающие тесноту каждого факторного признака x_1, x_2, \dots, x_k с результативным признаком y по формуле:

$$r_{yx_j} = \frac{\overline{y \cdot x_j} - \bar{y} \cdot \bar{x}_j}{\sigma_y \cdot \sigma_{x_j}}, \quad j = 1, \dots, k \quad (5)$$

где среднеквадратическое отклонение определяется по формуле:

$$\sigma_{x_j} = \sqrt{\overline{x_j^2} - (\bar{x}_j)^2}; \quad (6)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\overline{y^2} - (\bar{y})^2}. \quad (7)$$

2) парные (линейные) коэффициенты корреляции, описывающее межфакторной взаимосвязи x_1, x_2, \dots, x_k , определяется по формуле:

$$r_{x_j x_p} = \frac{\overline{x_j \cdot x_p} - \overline{x_j} \cdot \overline{x_p}}{\sigma_{x_j} \cdot \sigma_{x_p}}, \quad j = 1, \dots, p, \dots, k. \quad (8)$$

Описание значений парных коэффициентов корреляции представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Объяснение значений парных коэффициентов корреляции

Значение парного коэффициента корреляции	Характер связи признаков (вид, направление)
$r = -1$	функциональная обратная
$-1 < r < 0$	корреляционная обратная
$r = 0$	связь отсутствует
$0 < r < 1$	корреляционная прямая
$r = 1$	функциональная прямая

На основании полученных парных коэффициентов корреляции не только исключают из последующего рассмотрения коллинеарно-связанные признаки, но при этом определяют последовательность включения факторных признаков в уравнение.

Рассмотрим общий подход к построению модели многопараметрической регрессии. На основании приведенных ниже способов методического отбора факторных признаков для создания многопараметрической модели [3].

1.5.1 Нахождение стандартных коэффициентов регрессии (β -коэффициентов), определение их назначений и построение уравнения множественной регрессии в стандартном виде

В том случае, когда факторные признаки отличаются по своей природе и не имеют одинаковые единицы измерения, тогда для адекватности оценки воздействия на результирующий признак нужно представить все значения факторных признаков в стандартизованный вид по формуле:

$$t_{x_j} = \frac{x_j - \overline{x_j}}{\sigma_{x_j}}; \quad (9)$$

$$t_y = \frac{y - \bar{y}}{\sigma_y}. \quad (10)$$

Уравнение множественной регрессии в стандартизованном виде:

$$t_y = \beta_1 t_{x_1} + \beta_2 t_{x_2} + \dots + \beta_k t_{x_k}, \quad (11)$$

где $t_y, t_{x_1}, \dots, t_{x_k}$ - стандартизованные переменные, рассчитываемые по формулам (8); $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ - регрессионные стандартизованные коэффициенты.

β -коэффициенты рассчитываются по следующим типовым формулам:

$$\beta_1 = \frac{r_{yx_1} - r_{yx_2} \cdot r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2}; \quad (12)$$

$$\beta_2 = \frac{r_{yx_2} - r_{yx_1} \cdot r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2}. \quad (13)$$

$\beta_1(\beta_2)$ показывает, что с ростом фактора $x_1(x_2)$ на величину среднеквадратичного отклонения по этому факторному признаку, значение результативного признака y увеличивается на данное значение β -коэффициента при условии, что другие факторные признаки содержащиеся в уравнении остаются неизменными.[3]

1.5.2 Нахождение коэффициентов уравнения, разъяснение их значений и построение уравнения множественной регрессии в стандартной форме

Коэффициентами уравнения в обычном виде являются:

1) коэффициенты чистой (частной) регрессии $b_j, j = 1, \dots, k$, определяемые по формуле:

$$b_j = \beta_j \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_j}}, j = 1, \dots, k. \quad (14)$$

Коэффициент b_j определяется на основе использования метода наименьших квадратов, которые обеспечивают наименьшее расхождение между теоретическими и фактическими значениями результативного признака.

2) Свободный член уравнения (сдвиг) a :

$$a = \bar{y} - b_1 \bar{x}_1 - b_2 \bar{x}_2 - \dots - b_k \bar{x}_k. \quad (15)$$

Уравнение множественной регрессии в стандартной форме:

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k. \quad (16)$$

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО – МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ 10ХН8Д

Совместно с Институтом проблем машиностроения РАН, находящийся в Нижнем Новгороде, был проведен эксперимент.

Анализ свойств и характеристик конструкционной стали 10ХН8Д содержит необходимые данные для осуществления мониторинга, моделирования, а также для предотвращения предельного состояния, возникающего за счет пластической деформации элементов конструкции агрегатов и механизмов космического назначения.

Исследование свойств образцов стали 10ХН8Д проводились по обычно используемой методике диагностирования объемными ультразвуковыми волнами с частотой 5 МГц [4.5]. Условная блок схема измерений приведена на рисунке 1.

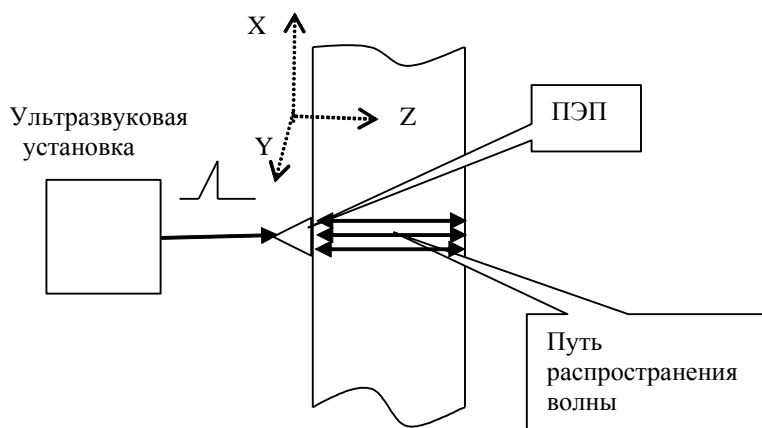


Рисунок 1 – Блок схема измерений времени распространения волны в образце

Для проведения эксперимента на рабочей части образца, а именно по центру, выбираются 5 точек с промежутком 1 см. Ось Z по толщине, ось X вдоль образца (направление растяжения). Чтобы определить время распространения ультразвуковой волны применяется метод эхо-импульса. Использовались ПЭП (пьезоэлектрические преобразователи), генерирующие продольные и поперечные объемные упругие (ультразвуковые) волны, распространяющиеся перпендикулярно поверхности материала.

Таблица 2 – Параметры ПЭП

Параметры ПЭП	Значения
Диаметр преобразователей	8 мм
Центральная частота	4,6 МГц
Длительность зондирующего сигнала	около 4 мкс

Для генерации упругих волн использовались пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) работающие на частотах колебаний 2; 5 МГц. Излучающий и приемный ПЭП размещаются в одном блоке с фиксированным расстоянием (рисунке 2). Акустическое зондирование, возбуждение излучающего ПЭП и прием сигнала осуществлялось с помощью дефектоскопа А1214.



Рисунок 2 – Блок излучатель-приемник упругих волн

Измерительные датчики (ПЭП) укреплялись на одной стороне растягиваемого образца.

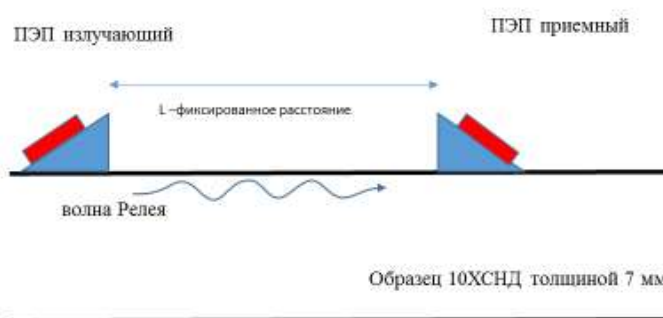


Рисунок 3 – Схема блока излучателя-приемника упругих волн

Излучающий и приемный ПЭП устанавливались в одном блоке на фиксированном друг от друга расстоянии, примерно $L=14,3$ мм. При нулевой деформации измерялась время прохождения этого расстояния ПАВ, вычислялась скорость ПАВ: 2976 м/с. Далее фиксировалось отклонение по времени в нсек первой точки пересечения амплитуды волны горизонтальной оси при наблюдении радиочастотного сигнала при деформировании. С учетом произошедших при деформировании отклонений времени пересечения (взятое из таблицы) вычислена действительная скорость:

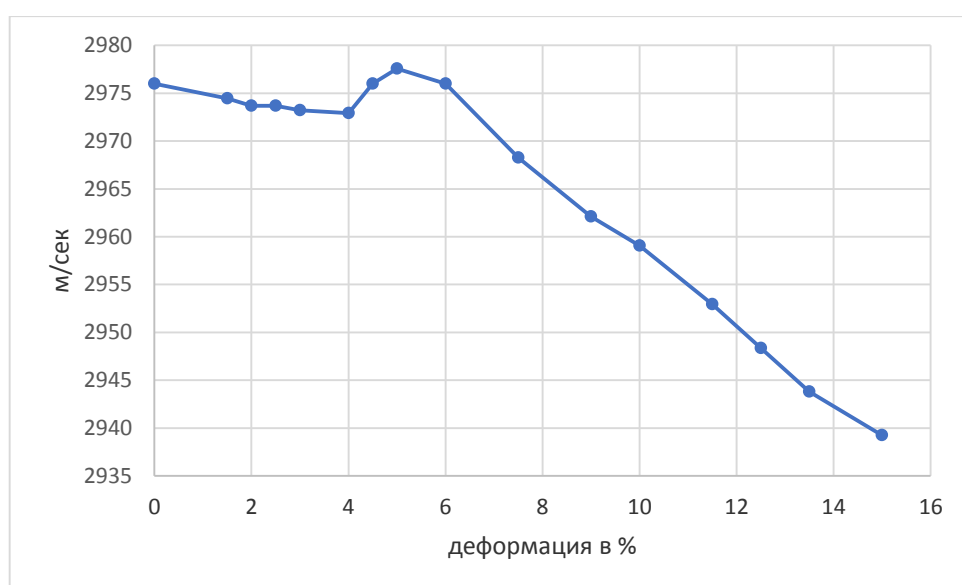


Рисунок 4 – График изменения скорости ПАВ при деформации

Для наглядности приведено положение зондирующего импульса на экране дефектоскопа А1214. Делалось это на осциллографе, где частота дискретизации сигнала (разрешение по времени) существенно выше примерно на 3 порядка. Стрелка на рисунке 5 - точка пересечения амплитуды волны горизонтальной оси.

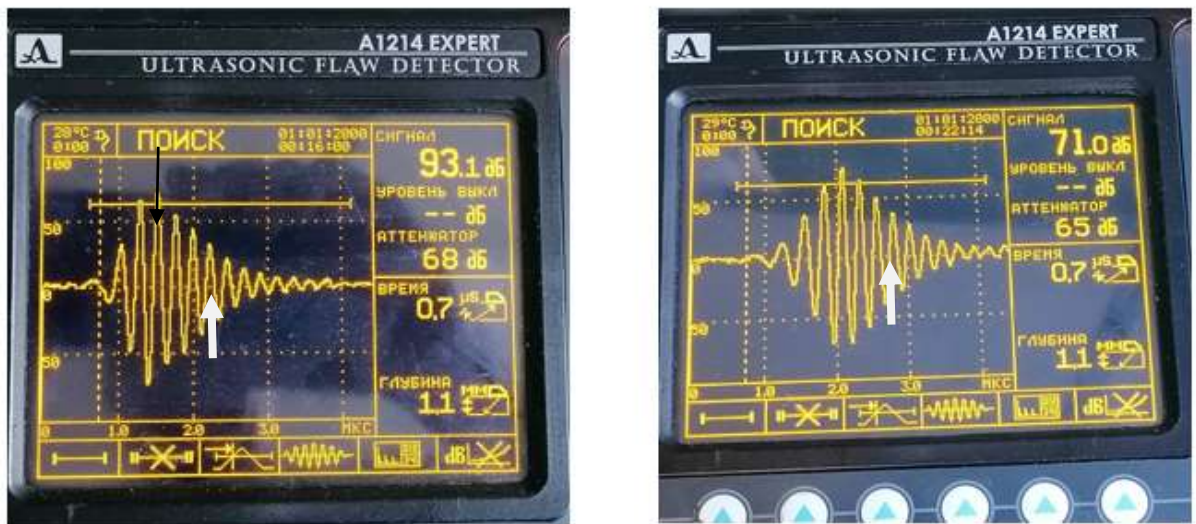


Рисунок 5 – Положение зондирующего импульса

Полученные значения обрабатывались программой MathCad 11.0. Проведена статистическая оценка времени распространения ультразвуковой волны (относительная погрешность измерения) не более $2 \cdot 10^{-4}$. Усредненные значения скорости в исследуемых точках показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Усредненные значения скорости

Тип зондирующей волны	v_{zx}	v_{zy}	v_{yx}	v_{yz}
Скорости продольных волн в м/с	3264	3244	3260	3239

Существуют два основных метода модуля упругости - динамический и статический. Применение динамического метода имеет следующие преимущества: использование удобных приборов, относительная простота реализации, низкая трудоемкость получения результатов измерений. Метод основан на том, что скорость различных типов ультразвуковых волн «связана с механическими свойствами исследуемой среды: коэффициентом Пуассона μ , модулем упругости E , модулем сдвига G и плотностью ρ » [6].

Для определения упругих характеристик статическим методом образец подвергается деформированию внешними фиксированными нагрузками и проведением измерений деформаций образующихся в образце.

Для реализации статического метода проводят измерение деформаций образцов материала под действием растягивающих нагрузок. «На испытательной машине проводилось нагружение образцов в условиях одноосного растяжения, затем производилась разгрузка образца. В процессе нагружения и разгрузки с помощью автоматической записывающей аппаратуры велась непрерывная регистрация деформаций. Метод исследования упругих свойств в данном случае является разрушающим» [7], следовательно на конструкции в отличие от неразрушающего провести его нельзя.

Растяжение проводилось на образцах стали 10ХСНД размером 400*40 в захватах и при сечении рабочей части образца 15,2*12 мм (182 мм²). Испытания проводились на универсальной испытательной машине фирмы Tinius Ollsen Ltd (модель H100KU), с погрешностью измерения нагрузки не более 0,5% (рисунок 6).



Рисунок 6 – Плоский образец из стали 10ХСНД, установленный в захватах установки Tinius Ollsen Ltd, и экстензометр Epsilon 3542, установленный на образце, перед началом испытаний методом разрушающего воздействия

Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ [8]. Экстензометр Epsilon 3542 с базой 50 мм измеряет деформацию образца Разрешающая

способность системы измерения деформации составляет 0,0001 мм. Скорость нагружения 5 мм/мин. Диаграмма растяжения контрольного образца приведена на рисунок 7.

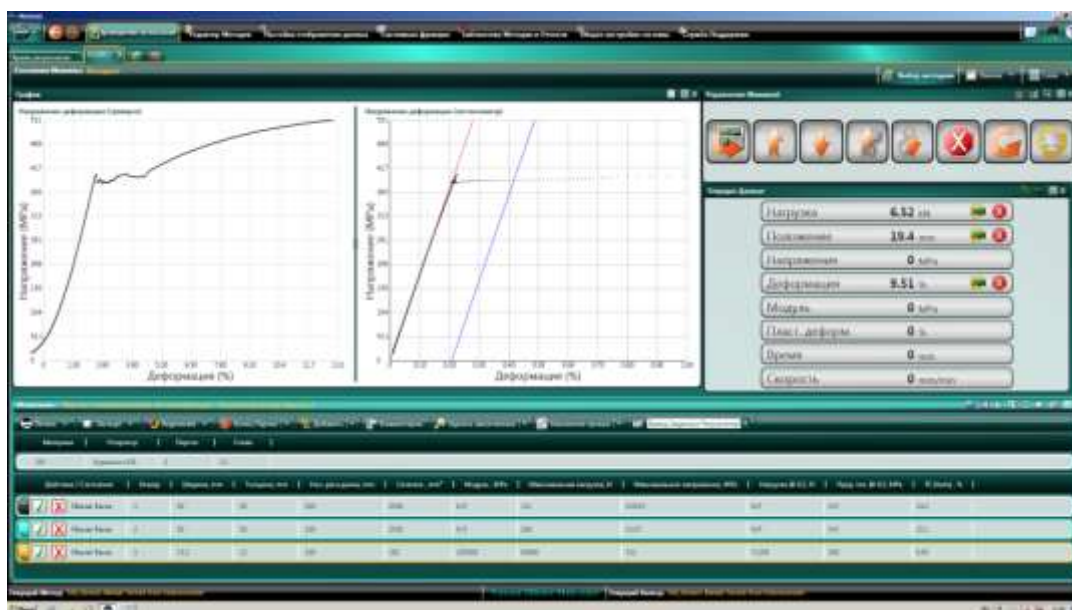


Рисунок 7 – Результат испытаний на экране компьютера

При помощи сертифицированной программы HORIZONT на компьютере был произведен расчет упругих характеристик образца стали 10ХН3Д. Слева на рисунке 7 диаграмма растяжения контрольного образца, справа показания тензометра. Модуль упругости, рассчитанный статическим методом, имеет величину 185000 МПа, а предел текучести составляет 390 МПа. Как и прогнозировалось, динамический модуль упругости превышает статический модуль на 14%.

3 МЕТОД АВТОРЕГРЕССИИ

При прогнозировании остаточного ресурса с предварительно собранных данных осуществляется расчет, основанный на использовании аппарата математической статистики и теории случайных процессов.

Исходными данными для прогнозирования ресурса служат значения, взятые из экспериментальных данных. Здесь важную роль представляют фактические значения этих показателей.

Методика прогноза состоит из временного ряда, разбитого по значениям, где устанавливается связь прогноза со собранными данными.

3.1 Методика расчета авторегрессии

При обработке методами используется авторегрессия.

Авторегрессия (автокорреляция) – корреляционная зависимость между последовательными уровнями одного и того же ряда динамики (сдвинутыми на определенный промежуток времени). Автокорреляция может быть измерена коэффициентом автокорреляции.

Для проведения прогноза будем считать, что изменение значений происходит, как правило по развитию прямой линии и описывается следующим уравнением:

$$Y_t = a_0 + a_1 t, \quad (17)$$

где Y_t - показатель собранных данных; a_0 , a_1 - коэффициенты уравнения; t - значение времени.

Прямая линия определяется на основе решения системы уравнений:

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum t = \sum Y_t \\ a_0 \sum t + a_1 \sum t^2 = \sum Y_t \cdot t \end{cases}, \quad (18)$$

где n - число членов временного ряда.

Для построения прогнозной модели необходимо найти коэффициенты авторегрессии, которые характеризуют скачки развития исследуемого показателя.

Параметры уравнения авторегрессии первого порядка.

Выборочные средние:

$$\bar{x}_t = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (19)$$

$$\bar{x}_{t-j} = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (20)$$

где j - это номер порядка коэффициента автокорреляции,

$$\bar{x}_{t,t-j} = \frac{\sum x_i x_i}{n}. \quad (21)$$

Выборочные дисперсии:

$$S^2(x) = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2, \quad (22)$$

$$S^2(x_{t-j}) = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}_{t-j}^2. \quad (23)$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$S(x) = \sqrt{S^2(x)}, \quad (24)$$

$$S(x_{t-j}) = \sqrt{S^2(x_{t-j})}. \quad (25)$$

Линейный коэффициент автокорреляции:

$$R = \frac{\overline{x_{t,t-j}} - \bar{x}_t \cdot \bar{x}_{t-j}}{S(x_t) \cdot S(x_{t-j})}. \quad (26)$$

По аналогии находим остальные коэффициенты авторегрессии.

В следствии прогнозная модель имеет вид:

$$Y_t^* - a_0 - a_1 t = R_1 [Y_{t-1} - a_0 - a_1(t-1)] + \dots + R_i [Y_{t-i} - a_0 - a_1(t-i)], \quad (27)$$

где Y_t^* - прогнозное значение; t - значение времени на прогнозируемый интервал.

4 РАСЧЕТ ПРОГНОЗА СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ, ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ

Исследуется зависимость скорости распространения звуковой волны от прикладываемой нагрузки.

- 1) Составим уравнение прямой линии.
- 2) Вычислим коэффициенты авторегрессии.
- 3) Построим прогнозную модель.
- 4) Результаты прогноза

Таблица 4 – Исходные данные

№	$U_{zx} = x_1$	$U_{zy} = x_2$	$U_{yx} = x_3$	$U_{yz} = x_4$	$\sigma = y$
1	3235	3235	3236	3237	14153,1
2	3237	3234	3236	3235	19573,4
3	3237	3236	3235	3234	25724,1
4	3238	3235	3234	3234	32170,8
5	3236	3234	3235	3236	41449,0
6	3234	3236	3235	3236	44312,9
7	3234	3235	3234	3238	46654,7
8	3236	3237	3234	3237	50534,9
9	3237	3236	3236	3237	55587,2
10	3238	3237	3235	3238	59916,9
11	3236	3237	3235	3237	62470,4
12	3237	3236	3236	3239	65880,3
13	3238	3237	3236	3236	67894,5
14	3236	3237	3235	3238	69652,2
15	3238	3237	3236	3239	70399,5

Чтобы составить уравнение прямой линии (17) воспользуемся системой (18):

$$\begin{cases} 15a_0 + 120a_1 = 48547 \\ 120a_0 + 1240a_1 = 388403 \end{cases} \quad (28)$$

Находим a_0, a_1 .

$$a_0 = 3235,67 \quad a_1 = 0,1.$$

Уравнение (17) принимает вид:

$$Y_t = 3235,67 + 0,1t. \quad (29)$$

За коэффициент t принимаем значения напряжения: 14153,1 МПа=1, 19573,4 МПа= 2, ..., 70399,5 МПа=15.

Для нахождения коэффициента автокорреляции первого порядка сдвигаем исходный ряд (таблица 4) на один уровень.

Таблица 5 – Информация для определения коэффициента авторегрессии первого порядка

№	$x_t = x_t$	x_{t-1}	x_t^2	x_{t-1}^2	$x_t \cdot x_{t-1}$
1	3235	3237	10465225	10478169	10471695
2	3237	3237	10478169	10478169	10478169
3	3237	3238	10478169	10484644	10481406
4	3238	3236	10484644	10471696	10478168
5	3236	3234	10471696	10458756	10465224
6	3234	3234	10458756	10458756	10458756
7	3234	3236	10458756	10471696	10465224
8	3236	3237	10471696	10478169	10474932
9	3237	3238	10478169	10484644	10481406
10	3238	3236	10484644	10471696	10478168
11	3236	3237	10471696	10478169	10474932
12	3237	3238	10478169	10484644	10481406
13	3238	3236	10484644	10471696	10478168
14	3236	3238	10471696	10484644	10478168
сумма	45309	45312	146636129	146655548	146645822

Находим коэффициенты авторегрессии первого порядка используя значения таблицы 5 и формулы (19) – (25).

$$\bar{x}_t = \frac{45309}{14} = 3236,36;$$

$$\bar{x}_{t-1} = \frac{45312}{14} = 3236,57;$$

$$\bar{x}_{t,t-1} = \frac{146645822}{14} = 10474701,57;$$

$$S^2(x_t) = \frac{146636129}{14} - 10474007,56 = 1,66;$$

$$S^2(x_{t-1}) = \frac{146655548}{14} - 10475394,61 = 1,67;$$

$$S(x_t) = \sqrt{1,66} = 1,29;$$

$$S(x_{t-1}) = \sqrt{1,67} = 1,29.$$

Определим коэффициент авторегрессии первого порядка по формуле (26).

$$R_1 = 0,31.$$

Находим коэффициент автокорреляции второго порядка, путем сдвигаем исходный ряд на два уровня.

Таблица 6 – Информация для определения коэффициента авторегрессии второго порядка

№	$x_t = x_t$	x_{t-2}	x_t^2	x_{t-2}^2	$x_t \cdot x_{t-2}$
1	3235	3237	10465225	10478169	10471695
2	3237	3238	10478169	10484644	10481406
3	3237	3236	10478169	10471696	10474932
4	3238	3234	10484644	10458756	10471692
5	3236	3234	10471696	10458756	10465224
6	3234	3236	10458756	10471696	10465224
7	3234	3237	10458756	10478169	10468458
8	3236	3238	10471696	10484644	10478168
9	3237	3236	10478169	10471696	10474932
10	3238	3237	10484644	10478169	10481406
11	3236	3238	10471696	10484644	10478168
12	3237	3236	10478169	10471696	10474932
13	3238	3238	10484644	10484644	10484644
сумма	42073	42075	136164433	136177379	136170881

Находим коэффициенты авторегрессии второго порядка используя значения таблицы 6 и формулы (19) – (25).

$$\bar{x}_t = \frac{42073}{13} = 3236,38;$$

$$\bar{x}_{t-2} = \frac{42075}{13} = 3236,57;$$

$$\bar{x}_{t,t-2} = \frac{136170881}{13} = 10474701,57;$$

$$S^2(x_t) = \frac{136164433}{13} - 10474185,38 = 1,78;$$

$$S^2(x_{t-2}) = \frac{136177379}{13} - 10475181,21 = 1,79;$$

$$S(x_t) = \sqrt{1,78} = 1,33;$$

$$S(x_{t-2}) = \sqrt{1,79} = 1,34.$$

Определим коэффициент авторегрессии первого порядка по формуле (26).

$$R_2 = -0,07.$$

Находим коэффициент автокорреляции третьего порядка, путем сдвигаем исходный ряд на три уровня.

Таблица 7 – Информация для определения коэффициента авторегрессии третьего порядка

№	$x_t = x_t$	x_{t-3}	x_t^2	x_{t-3}^2	$x_t \cdot x_{t-3}$
1	3235	3238	10465225	10484644	10474930
2	3237	3236	10478169	10471696	10474932
3	3237	3234	10478169	10458756	10468458
4	3238	3234	10484644	10458756	10471692
5	3236	3236	10471696	10471696	10471696
6	3234	3237	10458756	10478169	10468458
7	3234	3238	10458756	10484644	10471692
8	3236	3236	10471696	10471696	10471696
9	3237	3237	10478169	10478169	10478169
10	3238	3238	10484644	10484644	10484644
11	3236	3236	10471696	10471696	10471696
12	3237	3238	10478169	10484644	10481406
сумма	38835	38838	125679789	125699210	125689469

Находим коэффициенты авторегрессии второго порядка используя значения таблицы 7 и формулы (19) – (25).

$$\bar{x}_t = \frac{38835}{12} = 3236,25;$$

$$\bar{x}_{t-3} = \frac{38838}{12} = 3236,50;$$

$$\bar{x}_{t,t-3} = \frac{125689469}{12} = 10474122,42;$$

$$S^2(x_t) = \frac{125679789}{12} - 10473314,06 = 1,69;$$

$$S^2(x_{t-3}) = \frac{125699210}{12} - 10474932,25 = 1,92;$$

$$S(x_t) = \sqrt{1,69} = 1,30;$$

$$S(x_{t-3}) = \sqrt{1,92} = 1,38.$$

Определим коэффициент авторегрессии первого порядка по формуле (26).

$$R_3 = -0,39.$$

Находим коэффициент автокорреляции четвертого порядка, путем сдвигаем исходный ряд на четыре уровня.

Таблица 8 – Информация для определения коэффициента авторегрессии четвертого порядка

№	$x_t = x_t$	x_{t-4}	x_t^2	x_{t-4}^2	$x_t \cdot x_{t-4}$
1	3235	3236	10465225	10471696	10468460
2	3237	3234	10478169	10458756	10468458
3	3237	3234	10478169	10458756	10468458
4	3238	3236	10484644	10471696	10478168
5	3236	3237	10471696	10478169	10474932
6	3234	3238	10458756	10484644	10471692
7	3234	3236	10458756	10471696	10465224
8	3236	3237	10471696	10478169	10474932
9	3237	3238	10478169	10484644	10481406
10	3238	3236	10484644	10471696	10478168
11	3236	3238	10471696	10484644	10478168
сумма	35598	35600	115201620	115214566	115208066

Находим коэффициенты авторегрессии второго порядка используя значения таблицы 8 и формулы (19) – (25).

$$\bar{x}_t = \frac{35598}{11} = 3236,18;$$

$$\bar{x}_{t-4} = \frac{35600}{11} = 3236,36;$$

$$\bar{x}_{t,t-4} = \frac{115208066}{11} = 10473460,55;$$

$$S^2(x_t) = \frac{115201620}{11} - 10472872,76 = 1,79;$$

$$S^2(x_{t-4}) = \frac{115214566}{11} - 10474049,59 = 1,87;$$

$$S(x_t) = \sqrt{1,79} = 1,34;$$

$$S(x_{t-4}) = \sqrt{1,87} = 1,37.$$

Определим коэффициент авторегрессии первого порядка по формуле (26).

$$R_4 = -0,33.$$

Находим коэффициенты автокорреляции первого и последующего порядка для второй скорости аналогично первой скорости.

Таблица 9 – Информация для определения коэффициента авторегрессии первого порядка

№	$x_2 = x_t$	x_{t-1}	x_2^2	x_{t-1}^2	$x_2 \cdot x_{t-1}$
1	3235	3234	10465225	10458756	10461990
2	3234	3236	10458756	10471696	10465224
3	3236	3235	10471696	10465225	10468460
4	3235	3234	10465225	10458756	10461990
5	3234	3236	10458756	10471696	10465224
6	3236	3235	10471696	10465225	10468460
7	3235	3237	10465225	10478169	10471695
8	3237	3236	10478169	10471696	10474932
9	3236	3237	10471696	10478169	10474932
10	3237	3237	10478169	10478169	10478169
11	3237	3236	10478169	10471696	10474932
12	3236	3237	10471696	10478169	10474932
13	3237	3237	10478169	10478169	10478169
14	3237	3237	10478169	10478169	10478169
сумма	45302	45304	146590816	146603760	146597278

$$\bar{x}_t = \frac{45302}{14} = 3235,86;$$

$$\bar{x}_{t-1} = \frac{45304}{14} = 3236,00;$$

$$\bar{x}_{t,t-1} = \frac{146597278}{14} = 10471234,14;$$

$$S^2(x_t) = \frac{146590816}{14} - 10470771,45 = 1,12;$$

$$S^2(x_{t-1}) = \frac{146603760}{14} - 10471696,00 = 1,14;$$

$$S(x_t) = \sqrt{1,12} = 1,06;$$

$$S(x_{t-1}) = \sqrt{1,14} = 1,07;$$

$$R_1 = 0,38.$$

Таблица 10 – Информация для определения коэффициента авторегрессии второго порядка

№	$x_2 = x_t$	x_{t-2}	x_2^2	x_{t-2}^2	$x_2 \cdot x_{t-2}$
1	3235	3236	10465225	10471696	10468460
2	3234	3235	10458756	10465225	10461990
3	3236	3234	10471696	10458756	10465224
4	3235	3236	10465225	10471696	10468460
5	3234	3235	10458756	10465225	10461990
6	3236	3237	10471696	10478169	10474932
7	3235	3236	10465225	10471696	10468460
8	3237	3237	10478169	10478169	10478169
9	3236	3237	10471696	10478169	10474932
10	3237	3236	10478169	10471696	10474932
11	3237	3237	10478169	10478169	10478169
12	3236	3237	10471696	10478169	10474932
13	3237	3237	10478169	10478169	10478169
сумма	42065	42070	136112647	136145004	136128819

$$\bar{x}_t = \frac{42065}{13} = 3235,77;$$

$$\bar{x}_{t-2} = \frac{42070}{13} = 3236,15;$$

$$\bar{x}_{t,t-2} = \frac{136128819}{13} = 10471447,62;$$

$$S^2(x_t) = \frac{136112647}{13} - 10470202,51 = 1,10;$$

$$S^2(x_{t-2}) = \frac{136145004}{13} - 10472691,72 = 0,90;$$

$$S(x_t) = \sqrt{1,10} = 1,05;$$

$$S(x_{t-2}) = \sqrt{0,90} = 0,95;$$

$$R_2 = 0,58.$$

Таблица 11 – Информация для определения коэффициента авторегрессии третьего порядка

№	$x_2 = x_t$	x_{t-3}	x_2^2	x_{t-3}^2	$x_2 \cdot x_{t-3}$
1	3235	3235	10465225	10465225	10465225
2	3237	3234	10478169	10458756	10468458
3	3237	3236	10478169	10471696	10474932
4	3238	3235	10484644	10465225	10474930
5	3236	3237	10471696	10478169	10474932
6	3234	3236	10458756	10471696	10465224
7	3234	3237	10458756	10478169	10468458
8	3236	3237	10471696	10478169	10474932
9	3237	3236	10478169	10471696	10474932
10	3238	3237	10484644	10478169	10481406
11	3236	3237	10471696	10478169	10474932
12	3237	3237	10478169	10478169	10478169
сумма	38835	38834	125679789	125673308	125676530

$$\bar{x}_t = \frac{38835}{12} = 3236,25;$$

$$\bar{x}_{t-3} = \frac{38834}{12} = 3236,17;$$

$$\bar{x}_{t,t-3} = \frac{125676530}{12} = 10473044,17;$$

$$S^2(x_t) = \frac{125679789}{12} - 10473314,06 = 1,69;$$

$$S^2(x_{t-3}) = \frac{125673308}{12} - 10472774,69 = 0,97;$$

$$S(x_t) = \sqrt{1,69} = 1,30;$$

$$S(x_{t-3}) = \sqrt{0,97} = 0,99;$$

$$R_3 = -0,16.$$

Таблица 12 – Информация для определения коэффициента авторегрессии четвертого порядка

№	$x_2 = x_t$	x_{t-4}	x_2^2	x_{t-4}^2	$x_2 \cdot x_{t-4}$
1	3235	3234	10465225	10458756	10461990
2	3234	3236	10458756	10471696	10465224
3	3236	3235	10471696	10465225	10468460
4	3235	3237	10465225	10478169	10471695

5	3234	3236	10458756	10471696	10465224
6	3236	3237	10471696	10478169	10474932
7	3235	3237	10465225	10478169	10471695
8	3237	3236	10478169	10471696	10474932
9	3236	3237	10471696	10478169	10474932
10	3237	3237	10478169	10478169	10478169
11	3237	3237	10478169	10478169	10478169
сумма	35592	35599	115162782	115208083	115185422

$$\bar{x}_t = \frac{35592}{11} = 3235,64;$$

$$\bar{x}_{t-4} = \frac{35599}{11} = 3236,27;$$

$$\bar{x}_{t,t-4} = \frac{115185422}{11} = 10471402,00;$$

$$S^2(x_t) = \frac{115162782}{11} - 10469342,68 = 1,14;$$

$$S^2(x_{t-4}) = \frac{115208083}{11} - 10473461,17 = 0,93;$$

$$S(x_t) = \sqrt{1,14} = 1,07;$$

$$S(x_{t-4}) = \sqrt{0,93} = 0,96;$$

$$R_4 = 0,27.$$

Находим коэффициенты автокорреляции первого и последующего порядка для третьей скорости аналогично первой скорости.

Таблица 13 – Информация для определения коэффициента авторегрессии первого порядка

№	$x_3 = x_t$	x_{t-1}	x_3^2	x_{t-1}^2	$x_3 \cdot x_{t-1}$
1	3236	3236	10471696	10471696	10471696
2	3236	3235	10471696	10465225	10468460
3	3235	3234	10465225	10458756	10461990
4	3234	3235	10458756	10465225	10461990
5	3235	3235	10465225	10465225	10465225
6	3235	3234	10465225	10458756	10461990
7	3234	3234	10458756	10458756	10458756
8	3234	3236	10458756	10471696	10465224
9	3236	3235	10471696	10465225	10468460

10	3235	3235	10465225	10465225	10465225
11	3235	3236	10465225	10471696	10468460
12	3236	3236	10471696	10471696	10471696
13	3236	3235	10471696	10465225	10468460
14	3235	3236	10465225	10471696	10468460
сумма	45292	45292	146526098	146526098	146526092

$$\bar{x}_t = \frac{45292}{14} = 3235,14;$$

$$\bar{x}_{t-1} = \frac{45292}{14} = 3235,14;$$

$$\bar{x}_{t,t-1} = \frac{146526092}{14} = 10466149,43;$$

$$S^2(x_t) = \frac{146526098}{14} - 10466149,31 = 0,55;$$

$$S^2(x_{t-1}) = \frac{146526098}{14} - 10466149,31 = 0,55;$$

$$S(x_t) = \sqrt{0,55} = 0,74;$$

$$S(x_{t-1}) = \sqrt{0,55} = 0,74;$$

$$R_1 = 0,22.$$

Таблица 14 – Информация для определения коэффициента авторегрессии второго порядка

№	$x_3 = x_t$	x_{t-2}	x_3^2	x_{t-2}^2	$x_3 \cdot x_{t-2}$
1	3236	3235	10471696	10465225	10468460
2	3236	3234	10471696	10458756	10465224
3	3235	3235	10465225	10465225	10465225
4	3234	3235	10458756	10465225	10461990
5	3235	3234	10465225	10458756	10461990
6	3235	3234	10465225	10458756	10461990
7	3234	3236	10458756	10471696	10465224
8	3234	3235	10458756	10465225	10461990
9	3236	3235	10471696	10465225	10468460
10	3235	3236	10465225	10471696	10468460
11	3235	3236	10465225	10471696	10468460
12	3236	3235	10471696	10465225	10468460
13	3236	3236	10471696	10471696	10471696
сумма	42057	42056	136060873	136054402	136057629

$$\bar{x}_t = \frac{42057}{13} = 3235,15;$$

$$\bar{x}_{t-2} = \frac{42056}{13} = 3235,08;$$

$$\bar{x}_{t,t-2} = \frac{136057629}{13} = 10465971,46;$$

$$S^2(x_t) = \frac{136060873}{13} - 10466220,41 = 0,59;$$

$$S^2(x_{t-2}) = \frac{136054402}{13} - 10465722,70 = 0,53;$$

$$S(x_t) = \sqrt{0,59} = 0,77;$$

$$S(x_{t-2}) = \sqrt{0,53} = 0,73;$$

$$R_2 = -0,16.$$

Таблица 15 – Информация для определения коэффициента авторегрессии третьего порядка

№	$x_3 = x_t$	x_{t-3}	x_3^2	x_{t-3}^2	$x_3 \cdot x_{t-3}$
1	3236	3234	10471696	10458756	10465224
2	3236	3235	10471696	10465225	10468460
3	3235	3235	10465225	10465225	10465225
4	3234	3234	10458756	10458756	10458756
5	3235	3234	10465225	10458756	10461990
6	3235	3236	10465225	10471696	10468460
7	3234	3235	10458756	10465225	10461990
8	3234	3235	10458756	10465225	10461990
9	3236	3236	10471696	10471696	10471696
10	3235	3236	10465225	10471696	10468460
11	3235	3235	10465225	10465225	10465225
12	3236	3236	10471696	10471696	10471696
сумма	38821	38821	125589177	125589177	125589172

$$\bar{x}_t = \frac{38821}{12} = 3235,08;$$

$$\bar{x}_{t-3} = \frac{38821}{12} = 3235,08;$$

$$\bar{x}_{t,t-3} = \frac{125589172}{12} = 10465764,33;$$

$$S^2(x_t) = \frac{125589177}{12} - 10465764,17 = 0,58;$$

$$S^2(x_{t-3}) = \frac{125589177}{12} - 10465764,17 = 0,58;$$

$$S(x_t) = \sqrt{0,58} = 0,76;$$

$$S(x_{t-3}) = \sqrt{0,58} = 0,76;$$

$$R_3 = 0,28.$$

Таблица 16 – Информация для определения коэффициента авторегрессии четвертого порядка

№	$x_3 = x_t$	x_{t-4}	x_3^2	x_{t-4}^2	$x_3 \cdot x_{t-4}$
1	3236	3235	10471696	10465225	10468460
2	3236	3235	10471696	10465225	10468460
3	3235	3234	10465225	10458756	10461990
4	3234	3234	10458756	10458756	10458756
5	3235	3236	10465225	10471696	10468460
6	3235	3235	10465225	10465225	10465225
7	3234	3235	10458756	10465225	10461990
8	3234	3236	10458756	10471696	10465224
9	3236	3236	10471696	10471696	10471696
10	3235	3235	10465225	10465225	10465225
11	3235	3236	10465225	10471696	10468460
сумма	35585	35587	115117481	115130421	115123946

$$\bar{x}_t = \frac{35585}{11} = 3235,00;$$

$$\bar{x}_{t-4} = \frac{35587}{11} = 3235,18;$$

$$\bar{x}_{t,t-4} = \frac{115123946}{11} = 10465813,27;$$

$$S^2(x_t) = \frac{115117481}{11} - 10465225,00 = 0,55;$$

$$S^2(x_{t-4}) = \frac{115130421}{11} - 10466401,40 = 0,51;$$

$$S(x_t) = \sqrt{0,55} = 0,74;$$

$$S(x_{t-4}) = \sqrt{0,51} = 0,72;$$

$$R_4 = 0,17.$$

Находим коэффициенты автокорреляции первого и последующего порядка для четвертой скорости аналогично первой скорости.

Таблица 17 – Информация для определения коэффициента авторегрессии первого порядка

№	$x_t = x_4$	x_{t-1}	x_t^2	x_{t-1}^2	$x_t \cdot x_{t-1}$
1	3236	3236	10471696	10471696	10471696
2	3236	3235	10471696	10465225	10468460
3	3235	3234	10465225	10458756	10461990
4	3234	3235	10458756	10465225	10461990
5	3235	3235	10465225	10465225	10465225
6	3235	3234	10465225	10458756	10461990
7	3234	3234	10458756	10458756	10458756
8	3234	3236	10458756	10471696	10465224
9	3236	3235	10471696	10465225	10468460
10	3235	3235	10465225	10465225	10465225
11	3235	3236	10465225	10471696	10468460
12	3236	3236	10471696	10471696	10471696
13	3236	3235	10471696	10465225	10468460
14	3235	3236	10465225	10471696	10468460
сумма	45292	45292	146526098	146526098	146526092

$$\bar{x}_t = \frac{45312}{14} = 3236,57;$$

$$\bar{x}_{t-1} = \frac{45314}{14} = 3236,71;$$

$$\bar{x}_{t,t-1} = \frac{146662013}{14} = 10475858,07;$$

$$\bar{x}_{t,t-1} = \frac{146662013}{14} = 10475858,07;$$

$$S^2(x_t) = \frac{146655554}{14} - 10475394,61 = 2,10;$$

$$S^2(x_{t-1}) = \frac{146668506}{14} - 10476319,37 = 2,49;$$

$$S(x_t) = \sqrt{2,10} = 1,45;$$

$$S(x_{t-1}) = \sqrt{2,49} = 1,58;$$

$$R_1 = 0,48.$$

Таблица 18 – Информация для определения коэффициента авторегрессии второго порядка

№	$x_t = x_t$	x_{t-2}	x_t^2	x_{t-2}^2	$x_t \cdot x_{t-2}$
1	3237	3234	10478169	10458756	10468458
2	3235	3234	10465225	10458756	10461990
3	3234	3236	10458756	10471696	10465224
4	3234	3236	10458756	10471696	10465224
5	3236	3238	10471696	10484644	10478168
6	3236	3237	10471696	10478169	10474932
7	3238	3237	10484644	10478169	10481406
8	3237	3238	10478169	10484644	10481406
9	3237	3237	10478169	10478169	10478169
10	3238	3239	10484644	10491121	10487882
11	3237	3236	10478169	10471696	10474932
12	3239	3238	10491121	10484644	10487882
13	3236	3239	10471696	10491121	10481404
сумма	42074	42079	136170910	136203281	136187077

$$\bar{x}_t = \frac{42074}{13} = 3236,46;$$

$$\bar{x}_{t-2} = \frac{42079}{13} = 3236,85;$$

$$\bar{x}_{t,t-2} = \frac{136187077}{13} = 10475929,00;$$

$$S^2(x_t) = \frac{136170910}{13} - 10474683,29 = 2,09;$$

$$S^2(x_{t-2}) = \frac{136203281}{13} - 10477173,02 = 2,44;$$

$$S(x_t) = \sqrt{2,09} = 1,45;$$

$$S(x_{t-2}) = \sqrt{2,44} = 1,56;$$

$$R_2 = 0,41.$$

Таблица 19 – Информация для определения коэффициента авторегрессии третьего порядка

№	$x_t = x_t$	x_{t-3}	x_t^2	x_{t-3}^2	$x_t \cdot x_{t-3}$
1	3237	3234	10478169	10458756	10468458
2	3235	3236	10465225	10471696	10468460
3	3234	3236	10458756	10471696	10465224

4	3234	3238	10458756	10484644	10471692
5	3236	3237	10471696	10478169	10474932
6	3236	3237	10471696	10478169	10474932
7	3238	3238	10484644	10484644	10484644
8	3237	3237	10478169	10478169	10478169
9	3237	3239	10478169	10491121	10484643
10	3238	3236	10484644	10471696	10478168
11	3237	3238	10478169	10484644	10481406
12	3239	3239	10491121	10491121	10491121
сумма	38838	38845	125699214	125744525	125721849

$$\bar{x}_t = \frac{38838}{12} = 3236,50;$$

$$\bar{x}_{t-3} = \frac{38845}{12} = 3237,08;$$

$$\bar{x}_{t,t-3} = \frac{125721849}{12} = 10476820,75;$$

$$S^2(x_t) = \frac{125699214}{12} - 10474932,25 = 2,25;$$

$$S^2(x_{t-3}) = \frac{125744525}{12} - 10478708,51 = 1,91;$$

$$S(x_t) = \sqrt{2,25} = 1,50;$$

$$S(x_{t-3}) = \sqrt{1,91} = 1,38;$$

$$R_3 = 0,26.$$

Таблица 20 – Информация для определения коэффициента авторегрессии четвертого порядка

№	$x_4 = x_t$	x_{t-4}	x_4^2	x_{t-4}^2	$x_4 \cdot x_{t-4}$
1	3237	3236	10478169	10471696	10474932
2	3235	3236	10465225	10471696	10468460
3	3234	3238	10458756	10484644	10471692
4	3234	3237	10458756	10478169	10468458
5	3236	3237	10471696	10478169	10474932
6	3236	3238	10471696	10484644	10478168
7	3238	3237	10484644	10478169	10481406
8	3237	3239	10478169	10491121	10484643
9	3237	3236	10478169	10471696	10474932
10	3238	3238	10484644	10484644	10484644

11	3237	3239	10478169	10491121	10484643
сумма	35599	35611	115208093	115285769	115246910

$$\bar{x}_t = \frac{35599}{11} = 3236,27;$$

$$\bar{x}_{t-4} = \frac{35611}{11} = 3237,36;$$

$$\bar{x}_{t,t-4} = \frac{115246910}{11} = 10476991,82;$$

$$S^2(x_t) = \frac{115208093}{11} - 10473461,17 = 1,83;$$

$$S^2(x_{t-4}) = \frac{115285769}{11} - 10480523,31 = 1,14;$$

$$S(x_t) = \sqrt{1,83} = 1,35;$$

$$S(x_{t-4}) = \sqrt{1,14} = 1,07;$$

$$R_4 = 0,12.$$

Составляем прогнозную модель для 4 скоростей используя формулу (27).

$$Y_t^* - 3235,67 - 0,1t = R_1[Y_{t-1} - 3235,67 - 0,1(t-1)] + R_2[Y_{t-2} - 3235,67 - 0,1(t-2)] + R_3[Y_{t-3} - 3235,67 - 0,1(t-3)] + R_4[Y_{t-4} - 3235,67 - 0,1(t-4)]. \quad (30)$$

Подставим значения коэффициентов авторегрессии и перенесем все известное из левой части в правую.

$$Y_t^* = 0,31[Y_{t-1} - 3235,67 - 0,1(t-1)] - 0,07[Y_{t-2} - 3235,67 - 0,1(t-2)] - 0,39[Y_{t-3} - 3235,67 - 0,1(t-3)] - 0,33[Y_{t-4} - 3235,67 - 0,1(t-4)] + 3235,67 + 0,1t. \quad (31)$$

$$Y_t^* = 0,38[Y_{t-1} - 3235,67 - 0,1(t-1)] + 0,58[Y_{t-2} - 3235,67 - 0,1(t-2)] - 0,16[Y_{t-3} - 3235,67 - 0,1(t-3)] + 0,24[Y_{t-4} - 3235,67 - 0,1(t-4)] + 3235,67 + 0,1t. \quad (32)$$

$$Y_t^* = 0,22[Y_{t-1} - 3235,67 - 0,1(t-1)] - 0,16[Y_{t-2} - 3235,67 - 0,1(t-2)] + 0,28[Y_{t-3} - 3235,67 - 0,1(t-3)] + 0,17[Y_{t-4} - 3235,67 - 0,1(t-4)] + 3235,67 + 0,1t. \quad (33)$$

$$Y_t^* = 0,48[Y_{t-1} - 3235,67 - 0,1(t-1)] + 0,41[Y_{t-2} - 3235,67 - 0,1(t-2)] + 0,26[Y_{t-3} - 3235,67 - 0,1(t-3)] + 0,12[Y_{t-4} - 3235,67 - 0,1(t-4)] + 3235,67 + 0,1t. \quad (34)$$

Для вычисления прогноза скорости v_{zx} подставляем в уравнение прогнозной модели (31) значения напряжения (73725,6=16, 71651,9=17, ..., 74253,5=25) и подставляя скорости из таблицы 2 получим прогнозируемые скорости.

$$Y_{16}^* = 0,31[3238 - 3235,67 - 1,5] - 0,07[3236 - 3235,67 - 1,4] - 0,39[3238 - 3235,67 - 1,3] - 0,33[3237 - 3235,67 - 1,2] + 3235,67 + 1,6 = 3237,16;$$

$$Y_{17}^* = 0,31[3237,16 - 3235,67 - 1,6] - 0,07[3238 - 3235,67 - 1,5] - 0,39[3236 - 3235,67 - 1,4] - 0,33[3238 - 3235,67 - 1,3] + 3235,67 + 1,7 = 3237,35;$$

$$Y_{18}^* = 0,31[3237,35 - 3235,67 - 1,7] - 0,07[3237,16 - 3235,67 - 1,6] - 0,39[3238 - 3235,67 - 1,5] - 0,33[3236 - 3235,67 - 1,4] + 3235,67 + 1,8 = 3237,50;$$

$$Y_{19}^* = 0,31[3237,50 - 3235,67 - 1,8] - 0,07[3237,35 - 3235,67 - 1,7] - 0,39[3237,16 - 3235,67 - 1,6] - 0,33[3238 - 3235,67 - 1,5] + 3235,67 + 1,9 = 3237,35;$$

$$Y_{20}^* = 0,31[3237,35 - 3235,67 - 1,9] - 0,07[3237,50 - 3235,67 - 1,8] - 0,39[3237,35 - 3235,67 - 1,7] - 0,33[3237,16 - 3235,67 - 1,6] + 3235,67 + 2,0 = 3237,64;$$

$$Y_{21}^* = 0,31[3237,64 - 3235,67 - 2,0] - 0,07[3237,35 - 3235,67 - 1,9] - 0,39[3237,50 - 3235,67 - 1,8] - 0,33[3237,35 - 3235,67 - 1,7] + 3235,67 + 2,1 = 3237,77;$$

$$Y_{22}^* = 0,31[3237,77 - 3235,67 - 2,1] - 0,07[3237,64 - 3235,67 - 2,0] - 0,39[3237,35 - 3235,67 - 1,9] - 0,33[3237,50 - 3235,67 - 1,8] + 3235,67 + 2,2 = 3237,95;$$

$$Y_{23}^* = 0,31[3237,95 - 3235,67 - 2,2] - 0,07[3237,77 - 3235,67 - 2,1] - 0,39[3237,64 - 3235,67 - 2,0] - 0,33[3237,50 - 3235,67 - 1,9] + 3235,67 + 2,3 = 3238,08;$$

$$Y_{24}^* = 0,31[3238,08 - 3235,67 - 2,3] - 0,07[3237,95 - 3235,67 - 2,2] - 0,39[3237,77 - 3235,67 - 2,1] - 0,33[3237,64 - 3235,67 - 2,0] + 3235,67 + 2,4 = 3238,11;$$

$$Y_{25}^* = 0,31[3238,11 - 3235,67 - 2,4] - 0,07[33238,08 - 3235,67 - 2,3] - 0,39[3237,95 - 3235,67 - 2,2] - 0,33[3237,77 - 3235,67 - 2,1] + 3235,67 + 2,5 = 3238,14.$$

Для вычисления прогноза скорости v_{zy} подставляем в уравнение прогнозной модели (32) значения напряжения (73725,6=16, 71651,9=17, ..., 74253,5=25) и подставляя скорости из таблицы 2 получим прогнозируемые скорости.

$$Y_{16}^* = 0,38[3237 - 3235,67 - 1,5] + 0,58[3237 - 3235,67 - 1,4] - 0,16[3237 - 3235,67 - 1,3] + 0,24[3236 - 3235,67 - 1,2] + 3235,67 + 1,6 = 3236,93;$$

$$Y_{17}^* = 0,38[3236,93 - 3235,67 - 1,6] + 0,58[3237 - 3235,67 - 1,5] - 0,16[3237 - 3235,67 - 1,4] + 0,24[3237 - 3235,67 - 1,3] + 3235,67 + 1,7 = 3237,16;$$

$$Y_{18}^* = 0,38[3237,16 - 3235,67 - 1,7] + 0,58[3236,93 - 3235,67 - 1,6] - 0,16[3237 - 3235,67 - 1,5] + 0,24[3237 - 3235,67 - 1,4] + 3235,67 + 1,8 = 3237,20;$$

$$Y_{19}^* = 0,38[3237,20 - 3235,67 - 1,8] + 0,58[3237,16 - 3235,67 - 1,7] - 0,16[3236,93 - 3235,67 - 1,6] + 0,24[3237 - 3235,67 - 1,5] + 3235,67 + 1,9 = 3237,35;$$

$$Y_{20}^* = 0,38[3237,35 - 3235,67 - 1,9] + 0,58[3237,20 - 3235,67 - 1,8] - 0,16[3237,16 - 3235,67 - 1,7] + 0,24[3236,93 - 3235,67 - 1,6] + 3235,67 + 2,0 = 3237,37;$$

$$Y_{21}^* = 0,38[3237,37 - 3235,67 - 2,0] + 0,58[3237,35 - 3235,67 - 1,9] - 0,16[3237,20 - 3235,67 - 1,8] + 0,24[3237,16 - 3235,67 - 1,7] + 3235,67 + 2,1 = 3237,52;$$

$$Y_{22}^* = 0,38[3237,52 - 3235,67 - 2,1] + 0,58[3237,37 - 3235,67 - 2,0] - 0,16[3237,35 - 3235,67 - 1,9] + 0,24[3237,20 - 3235,67 - 1,8] + 3235,67 + 2,2 = 3237,56;$$

$$Y_{23}^* = 0,38[3237,56 - 3235,67 - 2,2] + 0,58[3237,52 - 3235,67 - 2,1] - 0,16[3237,37 - 3235,67 - 2,0] + 0,24[3237,35 - 3235,67 - 1,9] + 3235,67 + 2,3 = 3237,70;$$

$$Y_{24}^* = 0,38[3237,70 - 3235,67 - 2,3] + 0,58[3237,56 - 3235,67 - 2,2] - 0,16[3237,52 - 3235,67 - 2,1] + 0,24[3237,37 - 3235,67 - 2,0] + 3235,67 + 2,4 = 3237,75;$$

$$Y_{25}^* = 0,38[3237,75 - 3235,67 - 2,4] + 0,58[3237,70 - 3235,67 - 2,3] - 0,16[3237,56 - 3235,67 - 2,2] + 0,24[3237,67 - 3235,67 - 2,1] + 3235,67 + 2,5 = 3237,87.$$

Для вычисления прогноза скорости v_{yx} подставляем в уравнение прогнозной модели (33) значения напряжения (73725,6=16, 71651,9=17, ..., 74253,5=25) и подставляя скорости из таблицы 2 получим прогнозируемые скорости.

$$\begin{aligned}
Y_{16}^* &= 0,22[3236 - 3235,67 - 1,5] - 0,16[3235 - 3235,67 - 1,4] + 0,28[3236 - \\
&- 3235,67 - 1,3] + 0,17[3236 - 3235,67 - 1,2] + 3235,67 + 1,6 = 3236,87; \\
Y_{17}^* &= 0,22[3236,87 - 3235,67 - 1,6] - 0,16[3236 - 3235,67 - 1,5] + 0,28[3235 - \\
&- 3235,67 - 1,4] + 0,17[3236 - 3235,67 - 1,3] + 3235,67 + 1,7 = 3236,67; \\
Y_{18}^* &= 0,22[3236,67 - 3235,67 - 1,7] - 0,16[3236,87 - 3235,67 - 1,6] + 0,28[3236 - \\
&- 3235,67 - 1,5] + 0,17[3235 - 3235,67 - 1,4] + 3235,67 + 1,8 = 3236,64; \\
Y_{19}^* &= 0,22[3236,64 - 3235,67 - 1,8] - 0,16[3236,67 - 3235,67 - 1,7] + 0,28[3236,87 - \\
&- 3235,67 - 1,6] + 0,17[3236 - 3235,67 - 1,5] + 3235,67 + 1,9 = 3237,13; \\
Y_{20}^* &= 0,22[3237,13 - 3235,67 - 1,9] - 0,16[3236,64 - 3235,67 - 1,8] + 0,28[3236,67 - \\
&- 3235,67 - 1,7] + 0,17[3236,87 - 3235,67 - 1,6] + 3235,67 + 2,0 = 3237,39; \\
Y_{21}^* &= 0,22[3237,39 - 3235,67 - 2,0] - 0,16[3237,13 - 3235,67 - 1,9] + 0,28[3236,64 - \\
&- 3235,67 - 1,8] + 0,17[3236,67 - 3235,67 - 1,7] + 3235,67 + 2,1 = 3237,37; \\
Y_{22}^* &= 0,22[3237,37 - 3235,67 - 2,1] - 0,16[3237,39 - 3235,67 - 2,0] + 0,28[3237,13 - \\
&- 3235,67 - 1,9] + 0,17[3236,64 - 3235,67 - 1,8] + 3235,67 + 2,2 = 3237,51; \\
Y_{23}^* &= 0,22[3237,51 - 3235,67 - 2,2] - 0,16[3237,37 - 3235,67 - 2,1] + 0,28[3237,39 - \\
&- 3235,67 - 2,0] + 0,17[3237,13 - 3235,67 - 1,9] + 3235,67 + 2,3 = 3237,51; \\
Y_{24}^* &= 0,22[3237,51 - 3235,67 - 2,3] - 0,16[3237,51 - 3235,67 - 2,2] + 0,28[3237,37 - \\
&- 3235,67 - 2,1] + 0,17[3237,39 - 3235,67 - 2,0] + 3235,67 + 2,4 = 3237,81; \\
Y_{25}^* &= 0,22[3281,51 - 3235,67 - 2,4] - 0,16[3237,51 - 3235,67 - 2,3] + 0,28[3237,51 - \\
&- 3235,67 - 2,2] + 0,17[3237,37 - 3235,67 - 2,1] + 3235,67 + 2,5 = 3237,96.
\end{aligned}$$

Для вычисления прогноза скорости v_{yz} подставляем в уравнение прогнозной модели (34) значения напряжения (73725,6=16, 71651,9=17, ..., 74253,5=25) и подставляя скорости из таблицы 2 получим прогнозируемые скорости.

$$\begin{aligned}
Y_{16}^* &= 0,48[3239 - 3235,67 - 1,5] + 0,41[3238 - 3235,67 - 1,4] + 0,26[3236 - \\
&- 3235,67 - 1,3] + 0,12[3239 - 3235,67 - 1,2] + 3235,67 + 1,6 = 3238,51; \\
Y_{17}^* &= 0,48[3238,51 - 3235,67 - 1,6] + 0,41[3239 - 3235,67 - 1,5] + 0,26[3238 - \\
&- 3235,67 - 1,4] + 0,12[3236 - 3235,67 - 1,3] + 3235,67 + 1,7 = 3238,86; \\
Y_{18}^* &= 0,48[3238,86 - 3235,67 - 1,7] + 0,41[3238,51 - 3235,67 - 1,6] + 0,26[3239 - \\
&- 3235,67 - 1,5] + 0,12[3238 - 3235,67 - 1,4] + 3235,67 + 1,8 = 3239,32;
\end{aligned}$$

$$Y_{19}^* = 0,48[3239,32 - 3235,67 - 1,8] + 0,41[3238,86 - 3235,67 - 1,7] + 0,26[3238,51 - 3235,67 - 1,6] + 0,12[3239 - 3235,67 - 1,5] + 3235,67 + 1,9 = 3239,64;$$

$$Y_{20}^* = 0,48[3239,64 - 3235,67 - 1,9] + 0,41[3239,32 - 3235,67 - 1,8] + 0,26[3238,86 - 3235,67 - 1,7] + 0,12[3238,51 - 3235,67 - 1,6] + 3235,67 + 2,0 = 3239,99;$$

$$Y_{21}^* = 0,48[3239,99 - 3235,67 - 2,0] + 0,41[3239,64 - 3235,67 - 1,9] + 0,26[3239,32 - 3235,67 - 1,8] + 0,12[3238,86 - 3235,67 - 1,7] + 3235,67 + 2,1 = 3240,43;$$

$$Y_{22}^* = 0,48[3240,43 - 3235,67 - 2,1] + 0,41[3239,99 - 3235,67 - 2,0] + 0,26[3239,64 - 3235,67 - 1,9] + 0,12[3239,32 - 3235,67 - 1,8] + 3235,67 + 2,2 = 3240,90;$$

$$Y_{23}^* = 0,48[3240,90 - 3235,67 - 2,2] + 0,41[3240,43 - 3235,67 - 2,1] + 0,26[3239,99 - 3235,67 - 2,0] + 0,12[3239,64 - 3235,67 - 1,9] + 3235,67 + 2,3 = 3241,41;$$

$$Y_{24}^* = 0,48[3241,41 - 3235,67 - 2,3] + 0,41[3240,90 - 3235,67 - 2,2] + 0,26[3240,43 - 3235,67 - 2,1] + 0,12[3239,99 - 3235,67 - 2,0] + 3235,67 + 2,4 = 3241,98;$$

$$Y_{25}^* = 0,48[3241,98 - 3235,67 - 2,4] + 0,41[3241,41 - 3235,67 - 2,3] + 0,26[3240,90 - 3235,67 - 2,2] + 0,12[3240,43 - 3235,67 - 2,1] + 3235,67 + 2,5 = 3242,62.$$

Из представленных выше вычислений составляем таблицу зависимости прогнозируемой скорости от напряжения.

Таблица 21 – Прогноз скорости

№	$v_{zx} = x_1$	$v_{zy} = x_2$	$v_{yx} = x_3$	$v_{yz} = x_4$	$\sigma = y$
16	3237,16	3236,93	3236,87	3238,51	73725,6
17	3237,35	3237,16	3236,67	3238,86	71651,9
18	3237,50	3237,20	3236,64	3239,32	73123,2
19	3237,35	3237,35	3237,13	3239,64	74934,5
20	3237,64	3237,37	3237,39	3239,99	75598,5
21	3237,77	3237,52	3237,37	3240,43	76669,5
22	3237,95	3237,56	3237,51	3240,90	76529,0
23	3238,08	3237,70	3237,51	3241,41	77431,0
24	3238,11	3237,75	3237,81	3241,98	76822,3
25	3238,14	3237,87	3237,96	3242,62	74253,5

Представим соотношения скоростей к нагрузке в виде графиков.

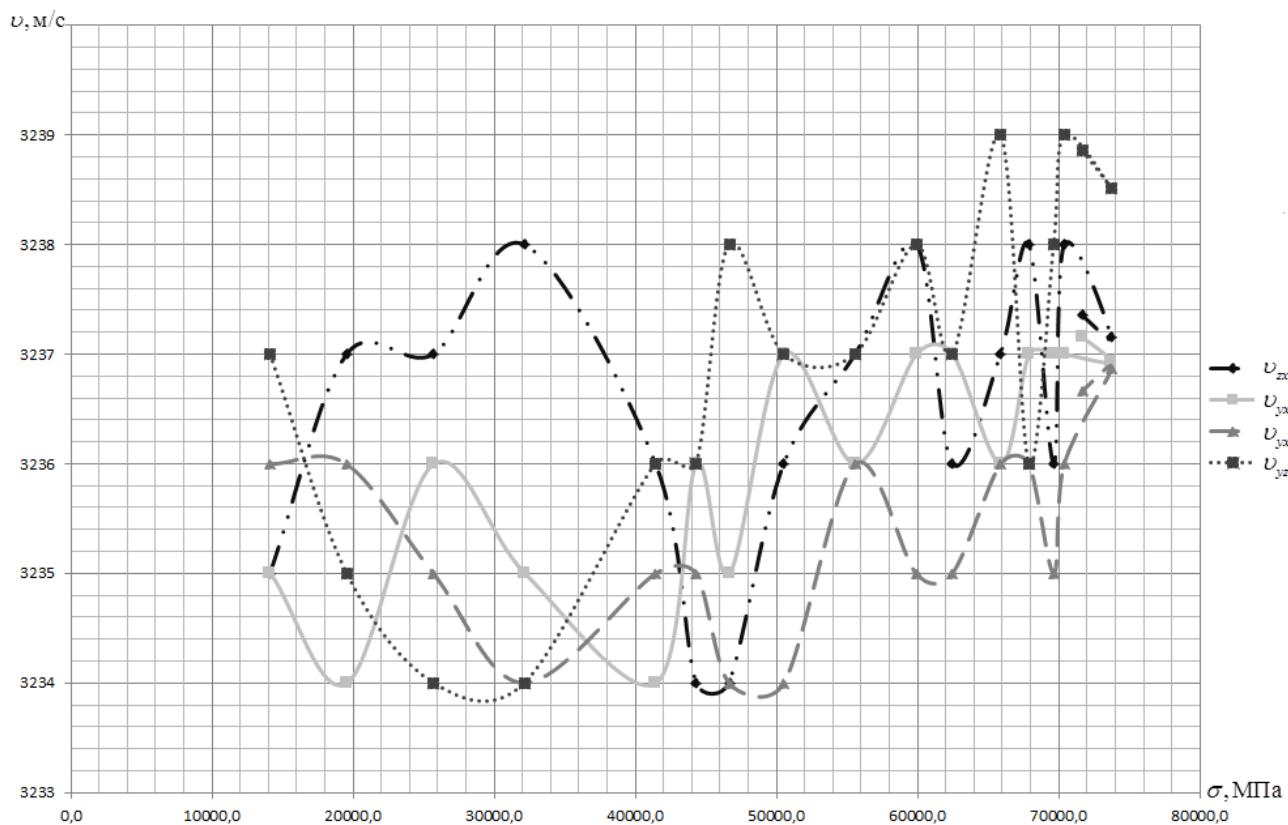


Рисунок 8 – График скоростей от прикладываемой нагрузки

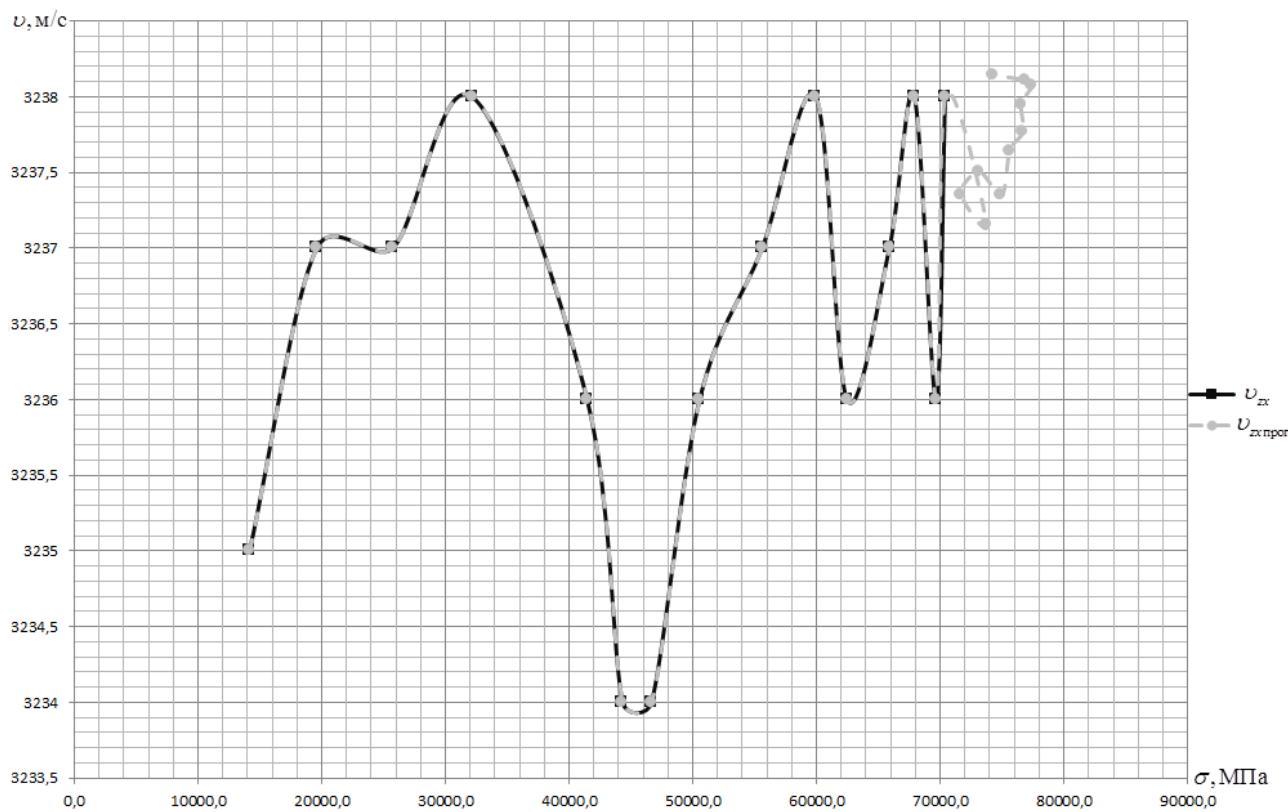


Рисунок 9 – График скорости v_{zx} и прогнозной скорости $v_{zxпрог.}$

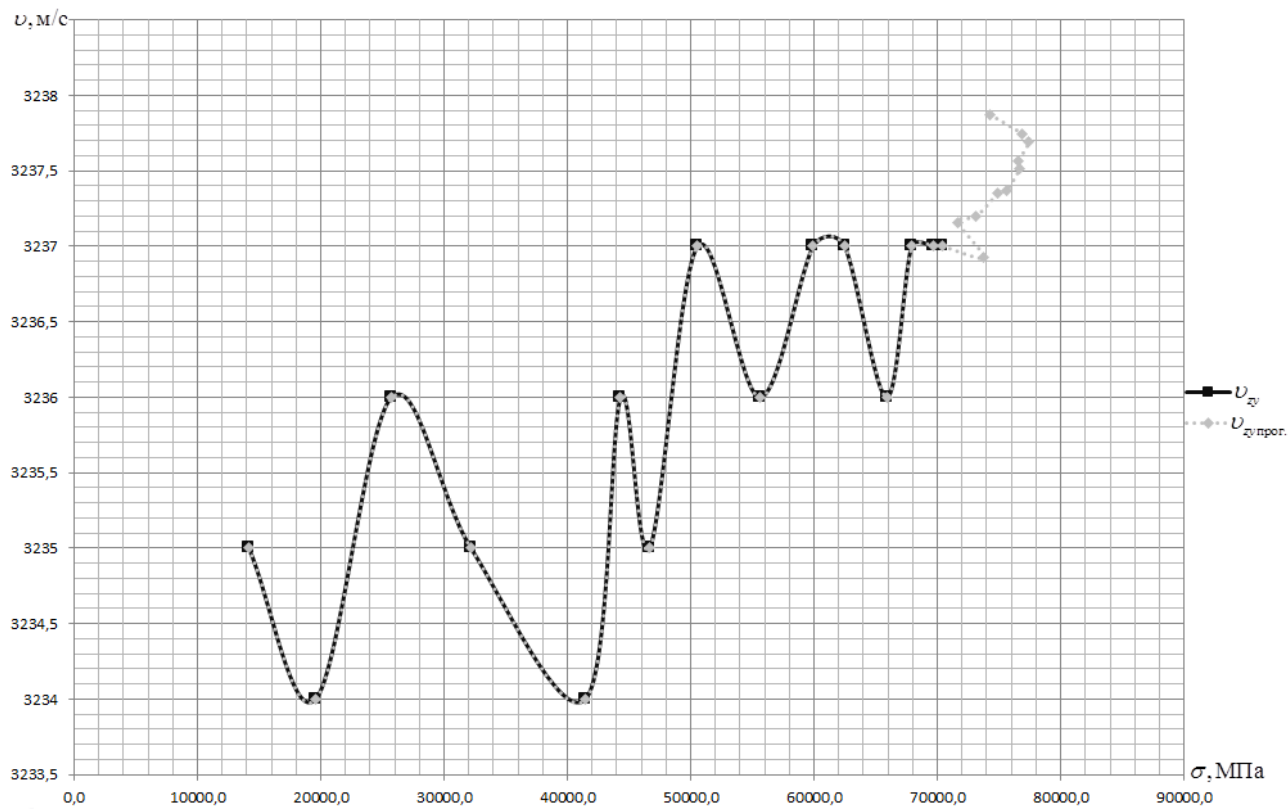


Рисунок 10 – График скорости v_{zy} и прогнозной скорости v_{zyprog} .

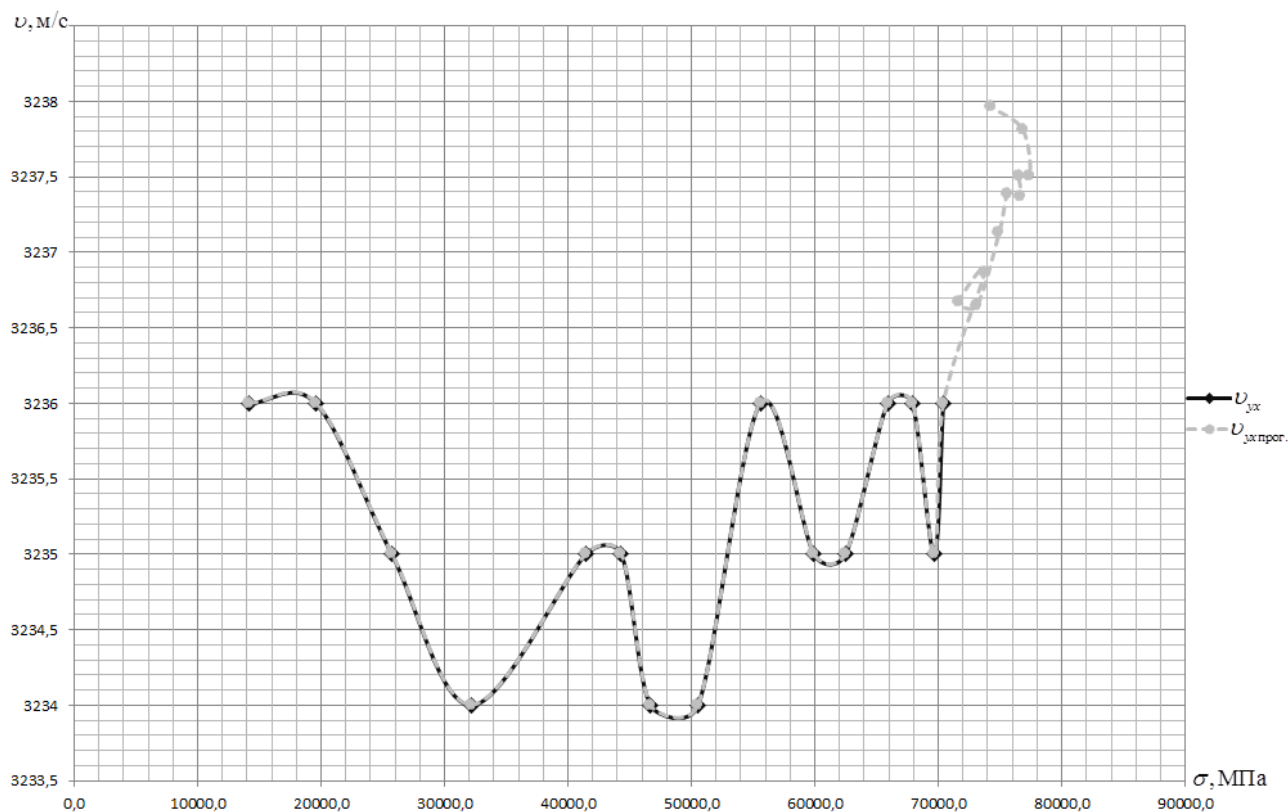


Рисунок 11 – График скорости v_{yx} и прогнозной скорости v_{yxprog} .

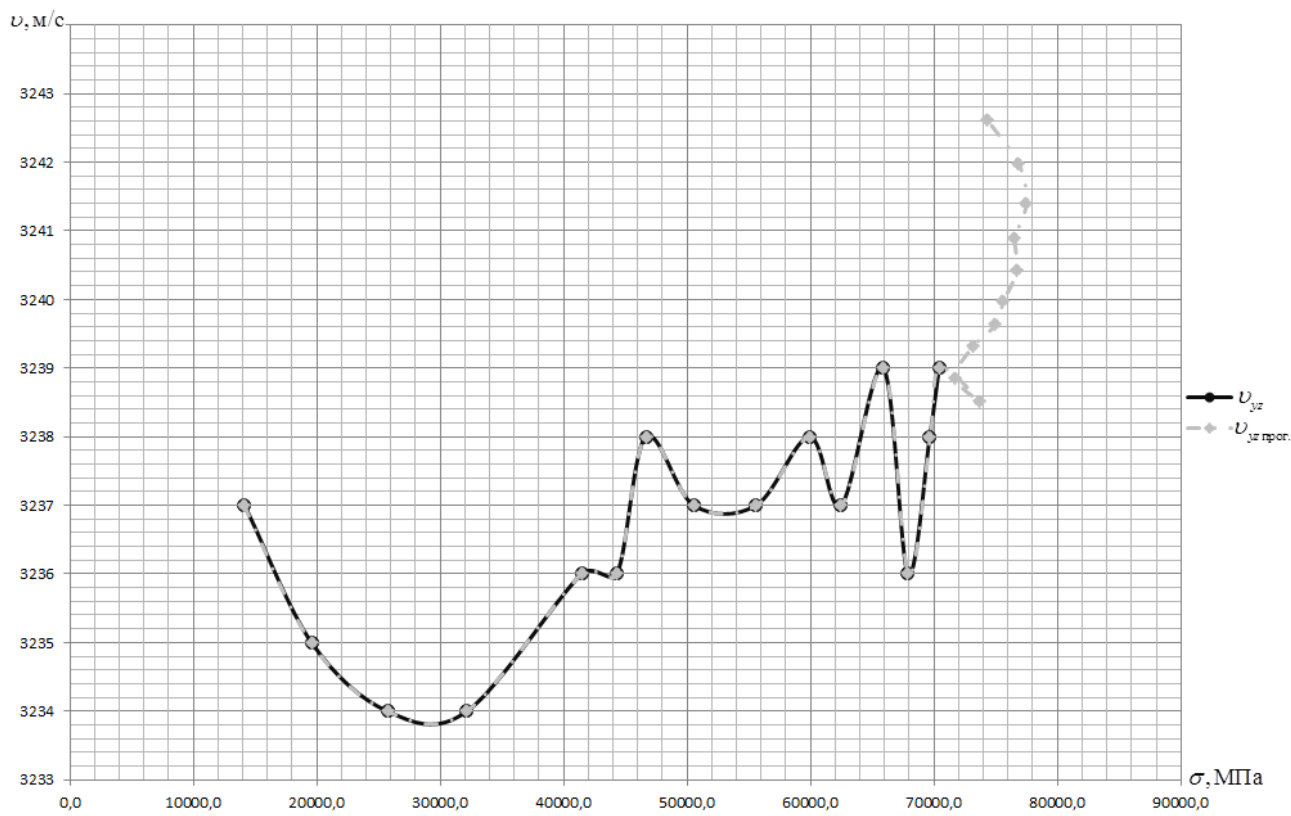


Рисунок 12 – График скорости v_{yz} и прогнозной скорости $v_{yz \text{ прогноз}}$.

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙ

В настоящее время использование ЭВМ в работе имеет как положительное, так и отрицательные значения. С одной стороны, происходит обеспечение более эффективного производства за счет усовершенствования технического процесса и повышения производительности труда, а с другой – увеличение нагрузки на работающих в связи с интенсивности производственной деятельности и специфическими условиями труда.

В соответствии с СанПиН: 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к ВДТ и ПЭВМ [10]. Организация работы» все вредности, возникающие при работе ВДТ и ПЭВМ, можно разделить на три группы:

1. Параметры рабочего места и рабочей зоны.
2. Визуальные факторы (контрастность, яркость, блики, мерцающие изображения).
3. Излучения (рентгеновское, электромагнитное излучение ВЧ и СВЧ диапазона, гамма-излучение, электростатические поля).

Условия труда, работающих с ЭВМ, характеризуются возможностью воздействия на них следующих производственных факторов: тепловыделений, шума, вредных веществ, ионизирующих и неионизирующих излучений, статического электричества, недостаточной освещенности, параметров технологического оборудования и рабочего места.

ПЭВМ являются источниками широкополостных электромагнитных излучений:

- мягкого рентгеновского;
- ультрафиолетового 200-400 нм;
- видимого 400-750 нм;
- ближнего ИК 750-2000 нм;
- радиочастотного диапазона 3кГц;
- электростатических полей.

Таблица 22 – Гигиенические требования к показателям электромагнитного поля и ионизирующего излучения персонального компьютера [10]

Нормируемый параметр ПДУ	Нормируемый параметр ПДУ
Мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения на расстоянии 5 см от монитора 100 мкР/час	Мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения на расстоянии 5 см от монитора 100 мкР/час
Напряженность электрического поля на расстоянии 50 см от монитора в диапазоне частот:	Напряженность электрического поля на расстоянии 50 см от монитора в диапазоне частот:
5 Гц - 2 кГц 25 В/м	5 Гц - 2 кГц 25 В/м
2 - 400 кГц 2,5 В/м	2 - 400 кГц 2,5 В/м

5.1 Требования к параметрам воздушной среды

СанПиН 2.2.2548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» регламентируются требования к микроклимату и параметрам воздушной среды производственных помещений. Данные правила предназначены в первую очередь для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека. Также эти правила позволяют поддерживать вычислительную технику в рабочем и исправном состоянии.

Воздух, поступающий в рабочие помещения операторов ЭВМ, должен быть очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов. Патогенной микрофлоры быть не должно.

Кондиционирование воздуха должно обеспечивать поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание необходимого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха. Температура подаваемого воздуха должна быть не ниже 19°C.

Оборудование надо устанавливать так, чтобы тепловые потоки от него не были направлены на операторов. Следует также ограничивать количество вычислительной техники в помещении и избегать напольных отопительных систем.

Каждый день в помещениях должна проводиться влажная уборка.

Таблица 23 – Микроклимат производственных помещений[10]

Период года	Температура воздуха, °С	Скорость движения воздуха, м/с	Относительная влажность воздуха, %
Холодный	22-24	до 0,1	40-60
Теплый	23-25	0,1-0,2	40-60

5.2 Требования к освещению помещений и рабочих мест

На рабочих местах, оборудованных ПЭВМ важно обеспечить правильное освещение. Достаточная освещенность способствует качественному выполнению поставленных задач, сохраняет здоровье трудящихся и обеспечивает безопасность.

В производственных помещениях и на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ, освещение должно удовлетворять требованиям, которые представлены в санитарных правилах и нормах [10].

Данные требования заключаются в следующем:

– Помещения, предназначенные для размещения рабочих мест пользователей персональных компьютеров, должны иметь естественное и искусственное освещение. Естественное освещение помещений, предназначенных для размещения рабочих мест, должно осуществляться через световые проемы, ориентированные преимущественно на север и северо-восток. Оконные проемы в помещениях, предназначенных для использования компьютеров, необходимо оборудовать устройствами регулирования интенсивности естественного освещения типа жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др. Искусственное освещение в помещениях должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

– Для использования в качестве источников местного освещения пригодны светильники, позволяющие избежать возникновения ослепления и бликов. Местное освещение на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана.

– Общее освещение следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии

зрения пользователя при рядном расположении рабочих мест. При периметральном расположении рабочих мест линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.

– Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Так как при работе на компьютере основная нагрузка ложится на глаза, поэтому большие требования предъявляются к видеотерминальным устройствам (экранам). Предпочтительным является плоский экран, позволяющий избежать наличие на нем ярких пятен за счет отражения световых потоков. Особенно важен цвет экрана. Он должен быть нейтральным. Допустимы ненасыщенные светло-зеленые, желто-зеленые, желто-оранжевые, желто-коричневые тона. Для устранения бликов и снижения влияния электромагнитного излучения экраны ВДТ должны быть снабжены защитными фильтрами.

5.3 Требования к производственному оборудованию

Требования санитарных правил направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека вредных факторов производственной среды и трудового процесса при работе с ПЭВМ.

Производственное оборудование на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ, должны соответствовать правилам электробезопасности производственных помещений[10].

Эти правила заключаются в следующем:

– Для обеспечения электропитания компьютеров должна быть смонтирована отдельная сеть (кабели) электроснабжения.

– Периферийное оборудование компьютеров должно быть подключено только к линиям электроснабжения компьютерной сети.

– Не допускается включение электропотребителей, не относящихся к компьютерам (настольная лампа, вентилятор и т.п.) в линии электроснабжения компьютерной сети.

– Не допускается использование оборудования без подключения к защитному заземлению, если такое подключение предусмотрено конструкцией оборудования.

– Не допускается использование оборудования с открытыми корпусами, если это не является основным режимом работы оборудования.

– Электрические розетки системы электропитания должны располагаться таким образом, чтобы кабели электропитания оборудования, расположенного на рабочем месте, не пересекали рабочее место (были направлены от места расположения пользователя).

5.4 Требования к размещению производственного оборудования и организации рабочих мест пользователей компьютеров

Состояние рабочих мест определяет уровень организации труда на предприятии и формирует обстановку, в которой работники выполняют свои трудовые функции. При организации рабочего места главной целью для работодателя является обеспечение качественного и эффективного выполнения сотрудником работ при полноценном использовании закрепленного за ним оборудования с соблюдением установленных сроков. В связи с этим к рабочему месту предъявляются требования организационного, технического, эргономического, санитарного, гигиенического и экономического характера.

Размещение оборудования на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ, соответствует требованиям, изложенных в санитарных правилах и нормах [10].

- При размещении рабочих мест с компьютерами необходимо учитывать расстояния между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), которое должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м.

– Рекомендуется использование специальных компьютерных столов в сочетании с письменными столами.

– Высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

– Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

– Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

– Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

5.5 Режимы труда и отдыха при работе с компьютером

Соблюдение режима труда и отдыха снижает риск эмоционального выгорания и соматических профзаболеваний, повышает продуктивность работы персонала.

Режим труда и отдыха при работе с ПЭВМ и ВДТ должен организовываться в зависимости от вида и категории деятельности. Виды деятельности подразделяются на следующие группы:

– группа А - работа по считыванию информации с ВДТ или ПЭВМ с предварительным запросом;

– группа Б - работа по вводу информации;

– группа В - творческая работа в режиме диалога.

Для инженеров, обслуживающих учебный процесс в кабинетах (аудиториях) с персональными компьютерами, продолжительность работы не должна превышать 6 часов в день.

Для пользователей в возрасте до 18 лет длительность работы с использованием персонального компьютера не должна превышать 3 часов в день.

Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья профессиональных пользователей, на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы.

Время регламентированных перерывов в течение рабочей смены следует устанавливать в зависимости от ее продолжительности, вида и категории трудовой деятельности. Режим труда и отдыха операторов, работающих с ЭВМ, должен быть следующим: через каждый час интенсивной работы необходимо устраивать 15 – минутный перерыв, при менее интенсивной через каждые 2 – часа.

Эффективность регламентируемых перерывов повышается при их сочетании с производственной гимнастикой. Производственная гимнастика должна включать комплекс упражнений, направленных на восполнение дефицита двигательной активности, снятие напряжения мышц шеи, спины, снижение утомления зрения. Она проводится в течение 5 – 7 мин. 1 – 2 раза в смену.

При 12 часовой рабочей смене регламентированные перерывы должны устанавливаться в первые 8 часов работы аналогично перерывам при 8-ми часовой рабочей смене, а в течение последних 4 часов работы, независимо от категории и вида работ, каждый час продолжительностью 15 минут.

Пользователи, использующие персональные компьютеры в качестве основного производственного средства, должны проходить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры в порядке и в сроки, установленные Минздравом России.

К непосредственным работам, связанным с использованием персонального компьютера допускаются лица, не имеющие медицинских противопоказаний.

5.6 Требования к применению коллективных средств защиты

Согласно Типовой инструкции по охране труда при работе на персональном компьютере ТОИ Р-45-084-01 при эксплуатации компьютера на работника могут оказывать влияние следующие опасные и вредные производственные факторы:

- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенный уровень статического электричества;

- пониженная ионизация воздуха;
- статические физические перегрузки;
- перенапряжение зрительных анализаторов.

Однако если правильно применить средства коллективной защиты на рабочих местах, то можно существенно сократить воздействие на здоровье работников вредных факторов и снизить вероятность развития осложнений.

На рабочих местах оборудованным ПЭВМ коллективные средства защиты должны обеспечивать оптимальный уровень работы человека [10].

Такие средства представляют собой следующие мероприятия:

– Для обеспечения защиты от поражения электрическим током все оборудование на рабочем месте должно быть, согласно требованиям ПУЭ подключено к защитному заземлению, если такое подключение предусмотрено конструкцией оборудования.

– В качестве средства улучшения условий труда в первую очередь следует применять естественные средства оптимизации, такие как живые растения, аквариумы, искусственные фонтаны и т.п.

– Для обеспечения требуемых уровней ионизации воздуха, в случае выявления ее несоответствия оптимальным значениям, следует применять технические средства аэроионизации (аэроионизаторы).

– Для обеспечения чистоты воздуха необходимо применять аппаратные воздушные фильтры, обеспечивающие удаление посторонних примесей из воздуха.

– Для предотвращения зрительного утомления занавеси должны гармонизировать по цвету с окраской стен.

– Для снижения напряженности электрического поля и электростатического потенциала экрана монитора необходимо применять приэкранные защитные фильтры. Применяемые защитные фильтры должны быть подключены к защитному заземлению. Эффективность защитных свойств приэкранного фильтра должна быть подтверждена экспертизой, проводимой после его установки.

– Помещения должны быть оснащены аптечкой первой помощи и углекислотными огнетушителями.

6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Расчет стоимости выполнения работ (услуг) основан на базовых ценах. Базовые цены рассчитываются на основе нормируемых трудозатрат, по формуле:

$$C_{\sigma} = B_{cp} \cdot T_{\Pi} \cdot \mathcal{C}_{\Pi} \cdot K_{\kappa\sigma(y\mathcal{C})}, \quad (35)$$

где C_{σ} – базовая цена работы (руб.); B_{cp} – средняя выработка; T_{Π} – плановая продолжительность выполнения работы; \mathcal{C}_{Π} – число исполнителей; $K_{\kappa\sigma(y\mathcal{C})}$ – коэффициент, учитывающий уровень квалификации (участия) исполнителей в разработке.

Среднемесячная выработка B_{cp} рассчитывается по формуле:

$$B_{cp} = \frac{3\Pi_{cp} \cdot (1 + P)}{K_3}, \quad (36)$$

где $3\Pi_{cp}$ – средняя зарплата ($3\Pi_{cp}$); P – уровень рентабельности; K_3 – коэффициент, учитывающий долю зарплаты в себестоимости.

Коэффициент, учитывающий уровень квалификации (участия) исполнителей в разработке ($K_{\kappa\sigma(y\mathcal{C})}$), рассчитывается по формуле:

$$K_{\kappa\sigma(y\mathcal{C})} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{T_{\phi i}}{T_{\Pi}} \cdot \mathcal{C}_i \cdot I_i}{\mathcal{C}_{\Pi}}, \quad (37)$$

где I_i – индекс среднемесячной заработной платы непосредственных исполнителей (1,50); \mathcal{C}_i – численность по группам с одинаковым уровнем зарплаты; $T_{\phi i}$ – фактическое время исполнителей с одинаковым уровнем зарплаты.

Стоимость выполняемых работ (услуг) в текущих ценах определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{тц}} = C_{\text{б}} \cdot K_{\text{пер}}, \quad (38)$$

где $K_{\text{пер}} = 4,761$ - коэффициент перерасчета (инфляционного изменения) к базовой стоимости работ на II квартал 2022 года.

Для проведения расчета базовой цены работы при проведении прогнозирования будем считать, что для одного научного сотрудника с среднемесячной зарплатой составляющей 37000 рублей; количество рабочих дней в месяце – 22; коэффициент удельного веса зарплаты – 40%; рентабельностью – 10% и продолжительностью разработки в 20 дней и фактическом времени исполнения 15 дней.

Определяем среднедневную зарплату (рублей) сотрудника:

$$ЗП_{\text{срд}} = \frac{37000}{22} = 1682.$$

Рассчитываем среднедневную единичную выработку используя формулу (38):

$$B_{\text{ср}} = \frac{1682 \cdot (1 + 0,1)}{0,4} = 4626.$$

Определяем коэффициент квалификации по формуле (37):

$$K_{\text{кв(уч)}} = \frac{\frac{15}{20} \cdot 1 \cdot 1,50}{1} = 1,125.$$

Рассчитываем базовую цену по формуле (35)

$$C_{\text{б}} = 4626 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1,125 = 104085.$$

Так как базовая цена работы составляет - 104085 рублей, то стоимость выполняемой работы по формуле (38) составляет:

$$C_{\text{тц}} = 104085 \cdot 4,761 = 495549 \text{ руб.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы был проведен расчет продольных скоростей распространения ультразвуковой волны в стали 10ХСНД. Проведен анализ полученных данных, также была спрогнозирована скорость волны в зависимости от нагрузки. Также была рассмотрена техника безопасности при работе с ПЭВМ, а также рассчитана экономическая часть.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Равин А.А., Хруцкий О.В. Инженерные методы прогнозирования остаточного ресурса оборудования./Вестник АГТУ 2018г. №1 33-46.
2. Дмитриева С.П. Разработка и исследование алгоритмов прогнозирования состояния многопараметрических систем: диссертация 2017 г. – 173 с.
3. Максимова Т.Г., Попова И.Н. Эконометрика: учебно-методическое пособие 2018 г. – 70 с.
4. Курашкин К.В. Оценка напряжений в сварных соединениях с помощью акустического метода/Контроль.Диагностика 2016 г. №10. 52-56 с.
5. Гончар А.В., Мишакин В.В., Ключников В.А., Курашкин К.В. Изменение упругих характеристик метастабильной аустенитной стали при циклическом деформировании/Журнал технической физики 2017 г. Т.87. №4. 518-521 с.
6. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В.Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль /И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге-М.: Машиностроение. 2004 г. 864 с.
7. ГОСТ 28840-90 Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования.
8. ГОСТ 22706-77. Металлы. Метод испытания на растяжение при температурах от минус 100 до минус 269°С.
9. ГОСТ 9454-78. МЕТАЛЛЫ. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.
10. СанПиН: 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к ВДТ и ПЭВМ. Организация работы».
11. Ерофеев В.И., Иляхинский А.В., Никитина Е.А., Пахомов П.А., Родюшкин В.М. Метод ультразвукового зондирования при оценке предельного состояния металлоконструкций, связанного с появлением пластических деформаций// Мезомеханика. 2019 г. Т.22(3). 65–70 с.
12. Иляхинский А.В., Родюшкин В.М. О нелинейном акустическом параметре при деформировании сплава АМг61 /Вестник Пермского национального

исследовательского политехнического университета. Механика. 2020 г. № 3. 41-47 с.

13. Иляхинский А.В., Родюшкин В.М. Экспериментальные исследования влияния повреждаемости стали на закономерности распространения поверхностных волн /Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2018 г. №.3. 36–43 с.