

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семин М.А., Левин Л.Ю., Паршаков О.С. Выбор параметров и обоснование режима работы замораживающих колонок для поддержания толщины ледопородного ограждения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2020. – № 5. – С. 194-205. – DOI: 10.15372/FTPRPI20200522.
2. Семин М.А., Богомягков А.В., Левин Л.Ю. Определение технологических параметров систем замораживания пород из условия поддержания проектной толщины ледопородного ограждения // Горные науки и технологии. – 2021. – Т. 6, № 3. – С. 192-202. – DOI: 10.17073/2500-0632-2021-3-192-202.
3. ВСН 189-78. Инструкция по проектированию и производству работ по искусственному замораживанию грунтов при строительстве метрополитенов и тоннелей / Минтрансстрой: Утв. Гл. техн. упр. 10.05.78: [Введ. В действие 01.10.78]. – М., 1978. – 68 с.
4. Инструкция по расчету параметров, контролю и управлению искусственным замораживанием горных пород при строительстве шахтных стволов на калийных рудниках ОАО «Беларуськалий». – Пермь; Солигорск, 2019. – 65 с.
5. Левин Л.Ю., Семин М.А., Богомягков А.В., Паршаков О.С. Применение программного комплекса «FrozenWall» для расчета искусственного замораживания пород // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. – 2019. – № 4. – С. 269-282.
6. Богомягков А.В., Пугин А.В. Совершенствование математической модели теплопереноса в замораживаемом породном массиве, реализованной в программе FrozenWall // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг ресурсов. – 2023. – Т. 334. – № 2. – С. 164-174. – DOI: 10.18799/24131830/2023/2/3808.
7. «Frozen Wall»: программа для ЭВМ: свидетельство о гос. регистрации № 2018666337 / Богомягков А.В., Зайцев А.В., Клюкин Ю.А., Левин Л.Ю., Паршаков О.С., Пугин А.В., Семин М.А.; заявитель и правообладатель ПФИЦ УрО РАН. – 2018663501; заявл. 28.11.2018; зарегистрировано 17.12.2018; опубл. 17.12.2018. – 1 с.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2023.4.19

О НЕОБХОДИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ГЛАВНОЙ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ НОРМАТИВНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ДЛЯ ВЫБОРА ВАРИАНТА ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

А.Е. Суханов, С.В. Мальцев
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: При необходимости развития подземных рудников и увеличения границ их шахтного поля требуется разработка проекта, который учитывает всевозможные факторы, влияющие на безопасность ведения горных работ, в том числе и оценка технического состояния главной вентиляторной установки. Поскольку главные вентиляторы являются объектами, которые обеспечивают непрерывную подачу свежего воздуха в горные выработки, необходим комплексный подход при оценке их технического состояния для прогнозирования надежности оборудования на период перспективного развития. В данной статье описан порядок проведения работ по обследованию технического состояния главной вентиляторной установки, описаны методы неразрушающего контроля, используемые во время работы и представлен перечень рекомендаций, разработанных по результатам выполненной работы.

Ключевые слова: калийный рудник, главная вентиляторная установка, дефектоскопия, перспективное развитие, неразрушающий контроль, центробежный вентилятор, обследование оборудования.

Введение

Согласно существующим требованиям федеральных норм и правил «Правила безопасности при ведении горных работ...» подземные горные выработки должны проветриваться непрерывно вентиляторами главного проветривания и вспомогательными вентиляторами главного проветривания, установленными в соответствии

с разработанным проектом [1]. Кроме того, в РД-03-427-01 указано, что нормативный срок службы вентиляторной установки главного проветривания составляет 30 лет (диаметр рабочего колеса вентилятора более 3150 мм). После прохождения данного срока не реже одного раза в семь лет необходимо проходить экспертное обследование установок.

Таким образом, для полноценного обеспечения всех рабочих зон требуемым количеством воздуха главная вентиляторная установка рудника должна находиться в работоспособном состоянии на протяжении всего срока службы предприятия, а её мощности должно быть достаточно для транспортировки свежей воздушной струи до самых отдаленных рабочих зон.

При проведении обследования главной вентиляторной установки выполняется проверка толщины лопаток рабочих колес, состояние подвижных валов, подшипников, осевого направляющего аппарата и приводов [2]. Без получения общей картины о текущем состоянии оборудования сложно подготовить заключение о возможности продления срока службы главной вентиляторной установки. Комплексная оценка состояния агрегатов главной вентиляторной установки позволит определить целесообразность замены ГВУ или реконструкции ее при проведении технического перевооружения.

Главная вентиляторная установка на калийных рудниках работает в агрессивной среде, для которой характерна повышенная влажность и высокое содержание соляной пыли [3]. В связи с этим появляется необходимость обследования оборудования на предмет коррозионного износа, суть которого заключается в визуальном обследовании и проведении толщинометрии лопаток рабочих колес вентиляторов главного проветривания, а также осевых направляющих аппаратов [4]. Производительность главных вентиляторов на калийных рудниках может достигать 30 000 м³/мин [5]. Исходящая струя, проходящая через рабочее колесо вентилятора, содержит в себе множество абразивных примесей, в том числе и частицы соляной пыли или рудной мелочи. В совокупности данные факторы способны ускорять процессы абразивного и коррозионного износов элементов оборудования.

Сотрудниками Горного института УрО РАН совместно с техническими специалистами предприятия проведено комплексное обследование технического состояния главной вентиляторной установки одного из калийных рудников. В данной работе приводится описание узлов и агрегатов, подвергаемых процессу неразрушающего контроля, типы диагностики и результаты обследования.

Объект исследования

Объектом исследования в данной статье является главная вентиляторная установка одного из калийных рудников. Срок эксплуатации обследуемого оборудования на момент проведения замеров составлял более 40 лет. В связи с длительной эксплуатацией ГВУ и перспективным развитием рудника актуальность получил вопрос определения текущего состояния комплекса главной вентиляторной установки, который включает в себя: рабочие колеса, осевые направляющие аппараты, валы, а также опорные подшипники.

На руднике имеются три вентиляторных агрегата типа ВРЦД – 4,5 с приводами разной мощности, основные параметры которых представлены в таблице 1.

Все вентиляторные агрегаты оснащены приводом, состоящим из двух электродвигателей: синхронного и асинхронного. Синхронный двигатель служит основным приводным при работе вентилятора в его нормальном режиме. Асинхронный двигатель с фазным ротором предназначен для разгона синхронного двигателя, а также используется при необходимости работы вентилятора с пониженной производительностью.

Таблица 1

Технические характеристики вентилятора ВРЦД – 4,5

Параметр	Величина	
	ВУ № 1, 2	ВУ № 3
Год производства	1964 г	1972 г
Частота вращения	375 об/мин	500 об/мин
Мощность привода асинхронного двигателя (АД)	500 кВт	500 кВт
Мощность привода синхронного двигателя (СД)	1600 кВт	4000 кВт
Производительность	100...420 м ³ /с	140...570 м ³ /с
Статическое давление	150...460 кг/м ²	270...820 кг/м ²
Габариты агрегата	11730 x 9780 x 4900 мм	

Регулирование производительности вентиляторов главного проветривания возможно путем изменения работы синхронного (СД) и асинхронного (АД) двигателей, а также изменением угла поворота осевого направляющего аппарата, который располагается на одном валу вместе с рабочим колесом самого вентилятора. Главный вал рабочего колеса смонтирован на опорных подшипниках качения, которые также являлись объектом детального анализа.

Комплексное обследование оборудования

1. Вибродиагностика подшипников качения.

При появлении многих видов дефектов в подшипниковых узлах в результате контакта дефектных участков одних поверхностей с другими поверхностями трения качения могут возникать короткие ударные импульсы, в результате которых появляется вибрация. При значительном износе поверхностей качения из-за их неровностей возникает низкочастотная вибрация всего агрегата.

При обследовании подшипниковых узлов использовался вибронализатор СД-12, а также программное обеспечение «Dream-32». Замеры производились на опорах качения в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. По результатам обследования подшипников рабочего колеса выявлены такие дефекты, как бой вала, наличие раковин на наружном кольце, а также наличие дефектов на сепараторе подшипника. Обследование подшипников качения синхронных электрических машин дефектов не показало.

2. Обследование валов вентиляторных установок.

Анализ литературных источников показал, что галтели вала являются наиболее подверженными усталостным дефектам [6, 7, 8, 9]. Обследование валов производится методами цветной и вихретоковой дефектоскопии участков галтелей валов вентиляторных агрегатов.

При проведении цветной дефектоскопии на предварительно очищенную и обезжиренную поверхность наносят жидкость красного цвета специального состава с большой капиллярной активностью. Далее жидкость проникает в существующие

микротрещины. После этого производится удаление избытка краски и оставшиеся следы являются маркерами наличия зон, требующих повышенного внимания. Для обследования валов использовались следующие инструменты: дефектоскопический набор «CRACK MARKER», люксметр ТКА-Люкс, фонарь СВГ-7, линейка и штангенциркуль.

Вихретоковая дефектоскопия, так же как и цветная, относится к обследованиям неразрушающего типа. Для проведения подобного рода дефектоскопии во время обследования использовался вихретоковый дефектоскоп Mentor EM и вихретоковый преобразователь. Схема, описывающая принцип метода, представлена на рисунке 1.

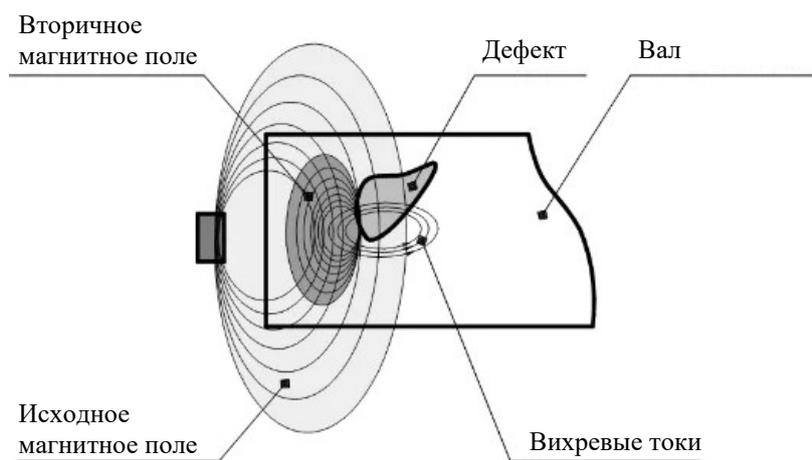


Рис. 1. Сущность вихретоковой дефектоскопии

Сущность метода заключается в создании переменного магнитного поля вблизи объекта исследования – вала. Образованное магнитное поле инициирует создание вихревых токов внутри вала, которые при наличии трещин или полостей изменяют свою конфигурацию. Фиксация этих изменений является исходными данными, сигнализирующими о наличии дефектов, развивающихся внутри исследуемого объекта.

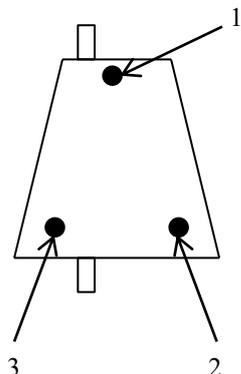
Результаты обследования галтелей валов показали, что дефектов в виде трещин в исследуемых зонах не обнаружено.

3. Толщинометрия лопаток.

Состояние лопаток рабочего колеса и осевого направляющего аппарата напрямую влияют на эффективность работы вентилятора главного проветривания. Для анализа целостности указанных элементов использовался метод визуального контроля, а также ультразвуковой толщинометрии. Сущность метода ультразвукового измерения толщины заключается в измерении времени прохождения импульса внутри исследуемого тела. Импульс, создаваемый преобразователем, проникает в объект контроля, проходит до противоположной поверхности и возвращается к приемнику. Время прохождения импульса фиксируется прибором и полученные данные преобразуются в расстояние, пройденное сигналом. Для проведения исследования применялись ультразвуковой преобразователь ПЭП П112-5-10/2-А-01 и ультразвуковой толщинометр «Булат-1М».

На рисунке 2 представлены места проведения контрольных замеров на лопатках осевого направляющего аппарата (ОНА) и рабочего колеса.

Лопатка ОНА
(с 2-х сторон):



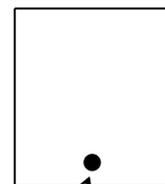
Лопатка рабочего колеса:

Вид сверху:



Вид А

Вид А:



1

Рис. 2. Расположение точек замера на лопатках

Результаты визуального обследования лопаток осевых направляющих аппаратов показали наличие сквозной коррозии на всех трех исследуемых вентиляторах. Максимальная величина площади зафиксированной коррозии имеет размеры 200×60 мм.

По итогу проведения толщинометрии лопаток направляющих аппаратов были выявлены максимальные и минимальные толщины контрольных участков (таблица 2).

Таблица 2

Максимальные и минимальные толщины контрольных участков направляющих аппаратов

Агрегат		Направляющий аппарат	
		min	max
ВУ №1	лицевая сторона	1,39 мм	3,29 мм
	оборотная сторона	7,09 мм	9,88 мм
ВУ №2	лицевая сторона	1,24 мм	3,01 мм
	оборотная сторона	4,20 мм	9,31 мм
ВУ №3	лицевая сторона	1,54 мм	3,10 мм
	оборотная сторона	4,98 мм	9,93 мм

Далее сравнение полученных результатов производилось с данными из конструкторских чертежей, прилагаемых к вентиляторам. Размеры, принятые к сравнению, представлены на рисунке 3. Погрешность представленных размеров может составлять до 0,5 мм.

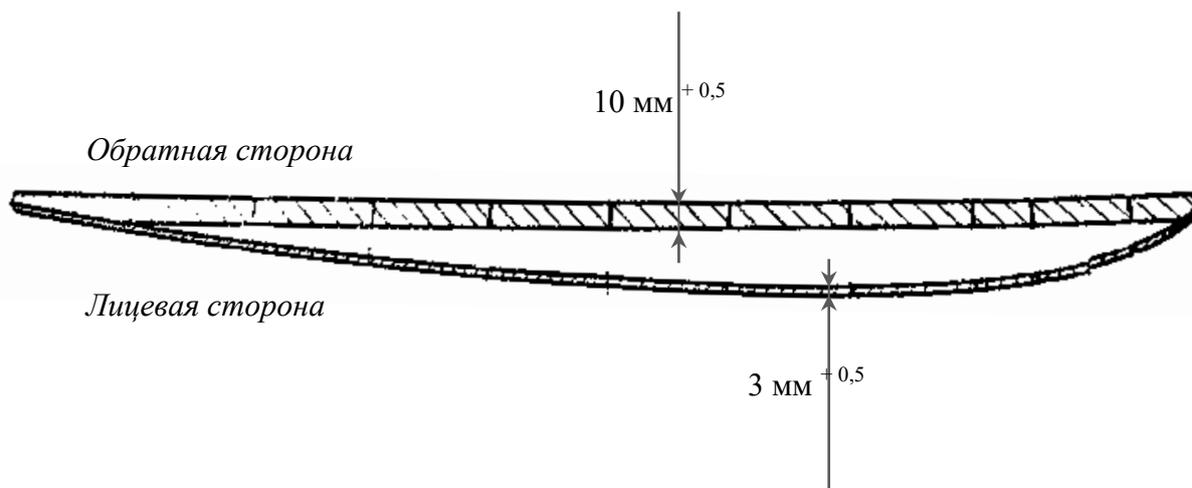


Рис. 3. Заводские размеры толщин стенок лопаток направляющих аппаратов

Результаты замеров, выполненных методом толщинометрии и их сравнения с заводскими значениями, износ некоторых лопаток направляющего аппарата составляет более 50% от первоначального (заводского) состояния.

Результаты толщинометрии лопаток рабочих колес центробежного вентилятора типа ВРЦД – 4,5 представлены в таблице 3.

Таблица 3

Максимальные и минимальные толщины контрольных участков рабочих колес

Агрегат	Рабочее колесо	
	min	max
ВУ №1	2,85 мм	4,10 мм
ВУ №2	2,70 мм	3,54 мм
ВУ №3	4,14 мм	4,96 мм

По результатам проведенных исследований методом ультразвуковой толщинометрии выявлено, что максимальная и минимальная величины отличаются на 46%. Анализируя полученные значения максимальных замеренных величин, можно сделать вывод, что износ лопаток рабочих колес на агрегатах ВУ 1 и ВУ 2 больше, чем у агрегата ВУ 3. Это объясняется величиной наработки вентиляторных агрегатов, которая у ВУ 1 и ВУ 2 значительно больше ввиду того, что режим работы ВУ 3 подразумевает её запуск только при отсутствии возможности работы первых двух агрегатов. Описанные факты указывают на наличие абразивного и коррозионного износов лопаток рабочих колес и, как следствие, подтверждается актуальность проведения толщинометрии данных элементов.

Разработка рекомендаций по результатам обследования

Обследование лопаток направляющих аппаратов показало наличие следов коррозии и значительного абразивного износа. В связи с уже длительной эксплуатацией направляющих аппаратов и с присутствием дефектов для стабильной работы оборудования рекомендуется заменить направляющие аппараты и смежное с ними оборудование на всех трех агрегатах. Также рекомендовано произвести ревизию кожухов направляющих

аппаратов, суть которой заключается в нанесении свежего антикоррозийного покрытия изнутри и, при необходимости, снаружи.

Обследование подшипниковых узлов указало на наличие средних и сильных по уровню дефектов, таких как биение вала, дефекты наружного кольца, дефекты сепаратора. При модернизации механического оборудования главной вентиляторной установки рекомендуется произвести замену всех подшипников качения.

Выводы

Вопрос обследования технического состояния главных вентиляторных установок на калийных рудниках Российской Федерации с каждым годом становится более актуальным ввиду старения существующего оборудования. Проведение дефектоскопии узлов и агрегатов главной вентиляторной установки является экономически более выгодным в сравнении с комплексной заменой всего оборудования. Такой подход позволяет выявить и устранить существующие проблемы, продлевая срок службы оборудования и снижая затраты на его замену.

Данная работа описывает перечень технических обследований, выполненных на одном из калийных рудников, где полученные результаты показали отсутствие необходимости полной замены оборудования, но выявили необходимость частичной модернизации. Было выявлено, что лопатки направляющих аппаратов сильно подвержены влиянию агрессивной среды, в которой эксплуатируется оборудование. Подтверждением тому является наличие сквозных отверстий, образовавшихся в результате воздействия коррозии. Ввиду чего выдана рекомендация по замене лопаток осевого направляющего аппарата. Анализ результатов обследования подшипниковых узлов указал на наличие дефектов при их работе, в результате чего выдана рекомендация о их ревизии или полной замене.

Отсутствие необходимости комплексной реконструкции главной вентиляторной установки с полной заменой оборудования позволит снизить перечень затрат для горного предприятия без снижения уровня безопасности при ведении горных работ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (рег. номер НИОКТР № 122012000396-6 и № 121111800053-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 08.12.2020, № 505, действуют с 01.01.2021 г. – М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).
2. РД 03-427-01. Методические указания по проведению экспертных обследований вентиляторных установок главного проветривания. Вып. 11: утв. Госгортехнадзором России 20.12.2001, № 61, действуют с 01.04.2002. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03).
3. Исаевич А.Г., Трушкова Н.А. Исследование причин и механизмов возникновения соляных образований в скипо-вентиляционных стволах калийных рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – №. 4. – С. 195-200.
4. Синкин Д.В., Антипов С.М., Илюшин В.В., Самохин А.В. Целесообразность и особенности ультразвуковой толщинометрии металлоконструкций шахтных вентиляторов главного проветривания при проведении экспертизы промышленной безопасности // Евразийский Союз Ученых. – 2016. – №. 3-3 (24). – С. 65-67.
5. Левин Л.Ю., Суханов А.Е., Исаевич А.Г. Увеличение энергоэффективности систем вентиляции калийных рудников путем реализации последовательного проветривания камер служебного назначения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 4. – С. 93-106. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_4_0_93.

6. Мальцев А.А., Тронников А.И. Оценка вероятности безотказной работы галтели рабочего валка по критерию циклической прочности // Оригинальные исследования. – 2020. – Т. 10, №. 9. – С. 102-109.
7. Костичев В.Э. Применение динамического моделирования для оценки влияния упрочняющей обработки на сопротивление усталости // Вестник СГАУ. – 2015. – Т. 14, №. 1. – С. 147-153. – DOI: 10.18287/1998-6629-2015-14-1-147-153.
8. Коротков М.М. Ультразвуковая толщинометрия: учеб. пособие. – Томск: изд-во ТПУ, 2008. – 94 с.
9. Арон А.В., Леонтьев Л.Б., Флорианская М.В. Повышение надежности втулок цилиндров судовых ДВС при трещинообразовании в галтели опорного бурта // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2004. – №. 5. – С. 36-41.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2023.4.20

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ОТСТАВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА ОТ ГРУДИ ЗАБОЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ВОЗДУХООБМЕНА В ТУПИКОВЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

А.В. Таций

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Данная работа посвящена анализу влияния величины отставания вентиляционного трубопровода от груди забоя на интенсивность воздухообмена. В работе приводятся результаты численного моделирования процесса проветривания тупиковой горной выработки с использованием вентиляционного трубопровода нагнетательным способом. Геометрические параметры выработки соответствуют типовым выработкам полиметаллических рудников, проводимых буровзрывным способом. Результаты исследования указывают на возможность увеличения отставания вентиляционного трубопровода от груди забоя без ухудшения интенсивности массообмена вблизи тупикового забоя. Этот вывод важен с точки зрения ресурсосбережения и повышения энергоэффективности проветривания тупиковых горных выработок. Полученные результаты могут быть применены при отступлении от пункта 182 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых».

Ключевые слова: рудник, тупиковая выработка, нагнетательный способ проветривания, воздухообмен, массообмен, безопасность.

Введение

В современных условиях при увеличении интенсивности ведения горнопроходческих работ необходим постоянный контроль за безопасностью. В части проветривания тупиковых горных выработок существует ряд обязательных требований, предписанных Федеральными нормами и правилами промышленной безопасности [1], которые, в частности, устанавливают, что отставание вентиляционных труб от забоя не должно превышать 10 метров при площади сечения забоя не более 16 метров, а при площади сечения забоя более 16 метров величина отставания вентиляционных труб не должна превышать 15 метров.

Соблюдение данного требования замедляет скорость ведения горных работ, а также снижает энергоэффективность вентиляции. Это связано прежде всего с тем, что в выработках, проводимых буровзрывным способом, при соблюдении раннее приведенного требования регулярно происходит повреждение вентиляционного трубопровода, что приводит к простоем горных работ вследствие нарушения вентиляции [2].

Результаты многочисленных исследований указывают на то, что для калийных и полиметаллических рудников, не опасных по газам, данное требование является чрезмерно жестким [3-6]. Анализ проводился как с привлечением аппарата вычис-