

Ю.М.Галаев

ЭФИРНЫЙ ВЕТЕР

**ЭКСПЕРИМЕНТ В ДИАПАЗОНЕ
РАДИОВОЛН**

2000

ЭФИРНЫЙ ВЕТЕР. ЭКСПЕРИМЕНТ В ДИАПАЗОНЕ РАДИОВОЛН

Ю.М.Галаев

В диапазоне радиоволн 8-мм фазовым методом выполнена экспериментальная проверка гипотезы о существовании в природе такой материальной среды распространения радиоволн, как эфир. Результаты систематических измерений соответствуют положениям исходной гипотезы и могут рассматриваться, как экспериментальное подтверждение представлений о существовании в природе эфира, как материальной среды. Ил. 7. Табл. 1. Библиогр.: 34 назв.

ETHER-DRIFT. EXPERIMENT IN THE BAND OF RADIO WAVE

Y.M.Galaev

Experimental check of the hypothesis on the existence in nature of such material medium as ether has been carried out in the 8-mm radio wave band, by the phase method. The results of systematic measurements correspond to rules of the initial hypothesis and can be considered as experimental acknowledgment of ideas about existence of ether in nature as material medium.

© Ю. М. Галаев, 2000 г.

Подписано в печать 21.08.2000. Формат 60 × 90^{1/16}.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 2,75.
Тираж 500 экз. Зак. 272.

ЗАО «Петит»

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

История поисков эфирного ветра является одной из самых запутанных историй современного естествознания. Значение исследований эфирного ветра выходит далеко за рамки исследований какого-либо частного физического исследования: результаты первых работ этого направления оказали решающее влияние на все естествознание XX столетия. Так называемый «нулевой результат» первых экспериментов А.Майкельсона и Э.Морли, выполненных этими исследователями в 1881 и 1887 гг., привел физиков XX столетия к мысли не только об отсутствии на земной поверхности эфирного ветра, но и к убеждению, что эфир – мировая среда, заполняющая собой все мировое пространство, не существует в природе. Никакие положительные результаты, полученные этими же и другими исследователями эфирного ветра в более поздние годы, уже не поколебали этой уверенности. И даже когда сам А.Эйнштейн в 1920 и 1924 гг. в своих статьях стал утверждать, что «физика немыслима без эфира», это не изменило ничего.

А между тем представления об эфире – мировой среде, заполняющей все мировое пространство и являющейся строительным материалом для всех без исключения видов вещества, движения которой проявляются в виде физических полей и взаимодействий, сопровождали всю известную нам историю естествознания. Пренебрежение эфиром означало принципиальный отказ от попыток проникнуть в структуру вещества и устройство физических полей и принципиально привело к феноменологии, т.е. к внешнему, поверхностному описанию явлений. Физическая сущность тем самым была исключена из рассмотрения. Произошло то, о чем предупреждал в начале XX столетия В.И.Ленин в своей книге «Материализм и эмпириокритицизм»: «Материя исчезла, остались одни уравнения». И это привело в конце XX столетия в тупик не только физику, но и все естествознание: наука топчется на месте.

Поэтому проведение экспериментов по эфирному ветру сегодня имеет принципиальное значение для науки, т.к. в случае положительных результатов заставляет естествознание вернуться к эфиру, а через это – к дальнейшему продвижению вглубь материи, к

выяснению структур всех микрообъектов, структур физических полей и, как следствие, к принципиально новым технологиям. Это и есть материалистический путь развития, пределу которого не существует.

В свете изложенного работа харьковского ученого Ю.М.Галаева и его группы представляет собой особую ценность, ибо она вновь подтверждает наличие на Земле эфирного ветра. Значение этой работы трудно переоценить, т.к. это произошло впервые в мире за последние 75 лет после исследований, выполненных выдающимся американским ученым профессором Кейсовской школы прикладной науки Д.К.Миллером, учеником А.Майкельсона, завершенных в 1925 г.

Ю.М.Галаевым разработана оригинальная методика измерения эфирного ветра в радиодиапазоне фазовым способом путем сопоставления фаз двух лучей, идущих разными путями, использующая градиент скорости эфирного ветра над поверхностью Земли, что является экспериментом первого порядка (ранее считалось, что этого сделать нельзя принципиально), создана соответствующая экспериментальная база, выполнен большой объем измерений и произведена статистическая обработка их результатов. Итогом этой большой работы является подтверждение существования эфирного ветра в мировом пространстве со всеми вытекающими отсюда выводами.

Хочется надеяться на то, что, во-первых, работы по изучению эфирного ветра группой Ю.М.Галаева будут продолжены и что, во-вторых, подобные исследования на основе других методик, например основанных на отклонении лазерного луча от прямолинейного направления под влиянием все того же эфирного ветра, будут выполнены и другими экспериментаторами.

В.А.Ащюковский,
доктор технических наук, профессор, академик Российской академии естественных наук, Международных академий энергоинформационных наук, биоэнерготехнологий, член-корреспондент Российской академии электротехнических наук.

ОТ АВТОРА

С работами Д.К.Миллера мне удалось познакомиться в 1995 г. благодаря сборнику статей "Эфирный Ветер", изданному в 1993 г д.т.н. В.А.Ащюковским. Измеренные Миллером параметры эфирного ветра позволили пояснить некоторые ранее наблюдавшиеся особенности изменения фазовых характеристик радиолучей, исследованием которых мне доводилось заниматься. Выявленные обстоятельства потребовали своего изучения. В 1996 г. был выполнен предварительный опыт. Результаты измерений подтвердили выполненные оценки. Можно было проводить основной эксперимент. Его методика была теперь апробирована. Но, по независящим от автора обстоятельствам, систематические измерения удалось начать только в 1998 г. Проведенные исследования дали обширный материал, часть которого представлена в настоящей работе.

В предисловии к сборнику "Эфирный Ветер" его составитель отметил: "У этого сборника есть еще одна цель – убедить читателя в том, что необходимо вновь поставить эксперимент Майкельсона по обнаружению эфирного ветра, но с учетом допущенных ранее ошибок...". В.А.Ащюковский достиг этой цели, эксперимент был поставлен. О результатах судить читателю.

к.т.н. Ю.М.Галаев

Отзывы направлять по адресу: ИРЭ НАН Украины,
ул. Акад. Проскуры 12,

61085 г.Харьков,Украина.

Введение. Экспериментальные исследования фазовой характеристики приземного канала распространения радиоволн 8-мм диапазона [1-4] выявили проблемы, связанные с разработкой его модели. Модель [3] описывала влияние возможных пространственных эффектов, но дальнейшего развития эта идея не получила в силу количественного расхождения между требуемыми и измеренными параметрами атмосферы. Интерференционная модель [4] в целом объясняла наблюдавшиеся эффекты, но в некоторых случаях имело место качественное расхождение между результатами расчетов и измерений. Дальнейшее изучение проблемы показало, что привлечение гипотезы об анизотропии среды распространения радиоволн дало возможность привести результаты расчетов в соответствие с результатами измерений. Предполагалось, что анизотропия обусловлена направленным движением среды распространения радиоволн и поток этой среды имеет космическое происхождение. Некоторые сведения о параметрах движения такой среды были взяты из [5-7]. Работы [5,6] были выполнены с целью экспериментальной проверки гипотезы о существовании в природе эфира - материальной среды, которая заполняет Мировое пространство, является строительным материалом всех видов вещества, движения которой проявляются в виде физических полей и взаимодействий. В свое время положительные результаты работы [5] были широко известны, но по ряду причин были оценены научной общественностью, как ошибочные. Гипотеза о существовании в природе такой материальной среды, как эфир, была отклонена. Учитывая давность и значимость проблемы, рассмотрим результаты важнейших работ, которые были выполнены в этом направлении. Попытаемся определить причины, которые заставили физиков того времени считать результаты работ [5,6] ошибочными и отказаться от концепции эфира.

В 1877 г. Д.К.Максвелл отметил, что при движении Земли сквозь эфир на её поверхности должен присутствовать эфирный ветер, который изменяет скорость света, распространяющегося в эфире. Известно, что впервые обнаружить эфирный ветер попытался в 1881 г. А.А.Майкельсон [8,7]. С помощью крестообразного интерферометра с длиной оптического пути около 2,4 м, в рамках гипотезы стационарного эфира, он ожидал получить смещение полос

интерференционной картины, соответствующее скорости орбитального движения Земли величиной 30 км/с. Однако было измерено смещение, которое соответствовало скорости величиной только 3-4 км/с. Этот результат Майкельсон отнес к погрешностям измерений и сделал вывод об ошибочности исходной гипотезы стационарного эфира. Однако практически с тех пор в физике принято считать, что "Опыт Майкельсона" показал ошибочность представлений вообще о существовании в природе такой среды, как эфир. С таким положением дела не были согласны многие исследователи. Попытки обнаружить эту среду продолжались, в том числе и самим Майкельсоном.

В 1925 г. Д.К.Миллер с помощью крестообразного интерферометра с длиной оптического пути около 64 м. в результате длительных систематических измерений получил, что скорость предполагаемого эфирного ветра на высоте 265 м над уровнем моря (Кливленд) имеет величину около 3 км/с, а на высоте 1830 м (обсерватория Маунт Вилсон, Пасадена) - около 10 км/с. Были определены координаты апекса движения Солнечной системы: прямое восхождение $17,5^h$, склонение $+65^\circ$ [5].

Работы Миллера, прежде всего [5,9], привлекли огромное внимание физиков. Вокруг них развернулась дискуссия, в которой, прежде всего, обсуждалось влияние возможных неучтенных факторов на оптический интерферометр. В [10] С.И.Вавилов выразил, пожалуй, сформировавшееся общее мнение: "... интерферометр Миллера настолько чувствителен, что многие трудно учитываемые местные влияния могут оказаться причиной систематического смещения полос". И здесь же: "Во всяком случае, повторение опытов в другом месте и другим прибором при существующем положении дела необходимо". Было ясно, что интерферометр требуется оградить от воздействия изменения параметров внешней среды. Решение казалось очевидным - интерферометр нужно поместить в термостат и вместе с термостатом разместить в герметичной камере. Так уж случилось, но все, за исключением эксперимента [11], попытки повторить опыты Миллера, выполнены приборами, которые были размещены в металлических камерах. Р.Д.Кеннеди [12,7] повысил чувствительность интерферометра. Прибор размещался в герметичной металлической камере. Измерения проводились на тех же высотах, что и в [5].

Смещение полос не наблюдалось. К.К.Иллингворт [13,7] усовершенствовал прибор Кеннеди, но и эти измерения показали нулевой результат. Е.Стаэль [14,7] поместил интерферометр в металлической камере-термостате и поднимал его на аэростате до высоты 2500 м. Искомое эффекта не было обнаружено. В 1929 г. появилась работа А.А.Майкельсона, Ф.Г.Писа, Ф.Пирсона [11]. В этом эксперименте, на той же обсерватории Маунт Вилсон, с помощью интерферометра с длиной оптического пути около 26 м было измерено смещение полос интерференционной картины величиной не более чем 1/50 ожидавшегося эффекта, связанного с движением Солнечной системы со скоростью 300 км/с. Другими словами, была измерена скорость относительного движения величиной 6 км/с. Для стабилизации температурного режима работы интерферометра его поместили в фундаментальном здании оптической мастерской обсерватории. Герметичная металлическая камера не применялась. К сожалению, в этой предельно лаконичной работе (1 страница) в основном перечислены проблемы, которые преодолели авторы при постановке эксперимента. Результаты измерений представлены только в том виде, как они приведены выше в настоящей работе. Опыт Г.Йооса 1930 г. [15] оказался последним опытом по обнаружению эфирного ветра, который выполнялся с помощью оптического интерферометра. Прибор был изготовлен на кварцевой основе фирмой Цейса, был подвешен в вакуумированной металлической камере и снабжен фотографической регистрацией. Результаты измерений показали, что искомый эфирный ветер, во всяком случае, не превышает величины 1 км/с (разрешающая способность прибора). После нулевого результата работы [15] измерения Миллера стали окончательно считать ошибочными и обусловленными побочными причинами.

В [6] Миллер отметил экранирующее свойство металлических покрытий. Однако научная общественность не отреагировала должным образом на такую особенность, показанную им в этой работе 1933 г., как, пожалуй, и на работу [11], поскольку к этому времени имелось множество опытов с нулевыми результатами, полученными с помощью интерферометров, экранированных металлическими камерами. Физическую интерпретацию явления экранировки впервые дал

В.А.Ащоковский [16], объяснив это наличием на поверхности металлов слоя Ферми.

После 1930 г. опыт Майкельсона – Миллера перестал занимать центральное место в физике. Только в 50-х годах, после появления приборов, основанных на совершенно других идеях (резонаторы, мазеры, эффект Мессбауэра и т.п.), возникла возможность проведения опытов, не повторяющих схему Майкельсона, но являющихся его аналогами в смысле интерпретации результатов. Такие опыты были проведены [17-20]. И опять общей инструментальной ошибкой этих опытов явилось использование для обнаружения эффектов эфирного ветра различных металлических камер. В [17,18,20] это – металлические резонаторы, в [19] – свинцовая камера, т.к. приходилось работать с гамма-излучением. Авторы этих работ, по всей видимости, не придали должного значения выводам Миллера 1933 г. [6] о неприменимости металлических коробов в опытах по эфирному ветру.

Таким образом, несмотря на многочисленные попытки физиков повторить опыты Миллера, адекватной проверки его экспериментов до настоящего времени проведено не было! Все его последователи тщательно закрывали свои приборы от эфирного ветра металлическими камерами, и, по образному выражению В.А.Ащоковского, "...это все равно, что пытаться измерить ветер, который дует на улице, глядя на анемометр, установленный в плотно закупоренной комнате" ([7], стр.4). Известные до настоящего времени работы нельзя причислить к экспериментам, которые были бы способны подтвердить или опровергнуть результаты Миллера, подтвердить или опровергнуть гипотезу о существовании в природе эфира. Во всех этих работах были применены измерительные средства, не пригодные для измерения эффектов эфирного ветра.

Большой труд по сбору и анализу работ, посвященных проблеме эфирного ветра, выполнен Ащоковским [7]. В [21,22,16] им предложена модель эфира и разработана эфиродинамическая картина мира. Эфир представляется как материальная среда, которая заполняет Мировое пространство и обладает свойствами вязкого и сжимаемого газа, является строительным материалом для всех вещественных образований. Элементом эфира является амер. Физические поля

представляют собой различные формы движения эфира, т.е. эфир является материальной средой распространения электромагнитных волн. При взаимном движении Солнечной системы и эфира у поверхности Земли образуется градиентный пограничный слой, в котором скорость движения эфира (эфирного ветра) увеличивается с высотой. Apex эфирного ветра северный. Показано, что металлы обладают большим эфиродинамическим сопротивлением и тормозят потоки эфира. Поэтому размещение измерительных устройств в металлических камерах недопустимо. В этом причина неудач [12-14 и др.]. Автор работ [7,16,21,22] считает, что эксперименты [5,11] достоверны.

Однако положительные результаты работ [5,11] сегодня нельзя рассматривать как окончательный эксперимент, после которого снимаются сомнения по отношению к определенной физической концепции. Дело в том, что в рамках современного представления о постоянстве скорости света установление факта наличия движения в пространстве Земли и Солнечной системы недостаточно, чтобы сделать вывод о существовании эфира, как материальной среды, т.е. среды, состоящей из отдельных частиц. Так, известный ротационный эффект Саньяка и обнаруживаемое с его помощью относительное движение, например суточное вращение Земли [23,7], в современной физике толкуется без привлечения гипотезы о существовании эфира [24]. По существу попытку экспериментально показать, что обнаруживаемое движение обусловлено относительным перемещением Земли и именно материальной среды эфира, сделали два исследователя: Миллер [5] и Стаэль [14], но оба допустили существенные методические ошибки. Миллер размещал интерферометр на разных высотах и получил, что скорость обнаруживаемого движения увеличивается с ростом высоты над земной поверхностью. В случае перемещения в пространстве без наличия эфира, как потока материальной среды, такой зависимости быть не должно. Однако эти важнейшие измерения выполнены в [5] методически некорректно: измерения на разных высотах разнесены во времени; измерения проведены в отличающихся условиях внешней среды (температура, влажность, давление, солнечная радиация, воздушные потоки и т.п.), к изменчивости параметров которой

интерферометр весьма чувствителен; измерения, строго говоря, проведены разными приборами, т.к. при переездах из Кливленда на обсерваторию Маунт Вилсон громоздкий интерферометр Миллера разбирался, собирался и настраивался вновь. Следовательно, методика, которую применял Миллер для измерения зависимости скорости обнаруживаемого движения от высоты над земной поверхностью, была неприемлема, чтобы сделать окончательный вывод в пользу существования эфира, как материальной среды. Более корректную методику для решения этой задачи попытался применить Стаэль [14]. Оптический интерферометр поднимался до высоты 2500 м. Для стабилизации условий работы интерферометра его поместили в герметичной металлической камере - термостате... Как уже отмечено, применение металлических камер совершенно недопустимо при таких измерениях. В то время это обстоятельство не было известно. Оказалось, что измеренное смещение интерференционных полос соответствует скорости эфирного ветра величиной 7 км/с с погрешностью такого же порядка величины. Вывод автора работы [14]: "Мы не можем на основании этой опытной серии обсуждать результат Миллера, поскольку наша точность измерений лежит как раз на границе наблюдений Миллера. Однако мы наверняка можем исключить эффект Миллера, увеличивающийся с увеличением высоты". Другими словами, движение вроде бы обнаруживается, а вот высотная зависимость этой скорости совершенно отсутствует.

Таким образом, принимая во внимание недостатки работ [5,11] и наличие большого числа экспериментов с нулевым результатом, можно понять недоверие физиков того времени к работам [5,11], результаты которых указывали на необходимость изменения фундаментальных физических концепций.

Положительные результаты применения данных [5,6] при анализе экспериментов [1-4], выявленные причины неудачных попыток повторить опыты Миллера показали, что необходимо вновь поставить эксперимент с целью проверки гипотезы о существовании в природе материальной среды распространения электромагнитных волн - эфира. Для этого нужно решить следующие задачи. Нужно учесть недостатки, допущенные в ранее проведенных исследованиях; применить иные методы измерений, которые позволят в едином

эксперименте, в едином акте измерения показать как наличие относительного движения Земли, так и то, что это движение обусловлено относительным перемещением Земли и потока материальной среды распространения электромагнитных волн и движение этой среды имеет космическое происхождение. Положительный результат такого эксперимента можно рассматривать, как экспериментальное подтверждение гипотезы о существовании в природе материальной среды эфира.

Метод измерения. При постановке эксперимента в качестве исходной гипотезы принята модель эфира, предложенная в [21,22,16]. В этом случае при распространении электромагнитных волн вблизи земной поверхности должны наблюдаться следующие эффекты. Эффект анизотропии - скорость распространения волн зависит от направления излучения, что обусловлено относительным движением Земли и эфира - среды распространения электромагнитных волн. Эффект высоты - скорость распространения волн зависит от высоты над земной поверхностью, что обусловлено вязкостью эфира - материальной среды распространения электромагнитных волн. Космический эффект - скорость распространения волн вдоль поверхности земли изменяет свою величину с периодом в одни звездные сутки, что обусловлено космическим происхождением эфирного ветра. При этом вследствие суточного вращения Земли высота (астрономическая координата) апекса движения Солнечной системы будет, как и для любой звезды, изменять свою величину с периодом в одни звездные сутки. Поэтому горизонтальная составляющая скорости эфирного ветра и, следовательно, скорость распространения электромагнитных волн вдоль земной поверхности будут изменять свои величины с этим же периодом. Следовательно, в соответствии с задачами настоящего исследования метод измерения должен быть чувствителен к указанным эффектам и обеспечивать их наблюдение в едином акте измерения.

В работе применен метод измерения, основанный на положениях принципа взаимности в электродинамике [25], согласно которым условия распространения радиоволн из одного пункта радиолинии в другой совершенно таковы как и в обратном

направлении и эта симметрия не зависит от свойств всего промежуточного пространства, которое лишь предполагается изотропным. Если скорость распространения радиоволн зависит от направления излучения, то такое пространство анизотропное и принцип взаимности не применим. При реализации метода использована приземная радиолиния прямой видимости со встречным распространением радиоволн миллиметрового диапазона. В этом случае основным механизмом формирования полей в пунктах приема является интерференция прямых волн и волн, отраженных от земной поверхности [26], т.е. волн, которые распространялись на разных высотах от земли. Это позволило, сравнивая результаты интерференции волн одновременно в обоих пунктах, обнаружить проявление эффектов анизотропии и высоты. Космический эффект обнаруживался, как и в [5,6], усреднением результатов систематических измерений, выполненных в масштабе звездного времени S . На рис. 1 показана схема опыта.

Буквами А и В обозначены приемопередающие пункты радиолинии. В каждый из этих пунктов приходят две волны: прямая, распространяющаяся по траектории АВ на высоте Z_{np} над земной поверхностью, и волна, отраженная от земной поверхности в точке С. Протяженность траектории АВ равна r . Средняя высота траектории АСВ равна Z_l . Стрелки, обозначенные как W_{np} и W_{rl} , показывают направление радиальной составляющей скорости эфирного ветра, т.е. составляющей, действующей вдоль радиолинии. Их длины пропорциональны скоростям эфирного ветра на высотах Z_{np} и Z_l . Радиолиния представляет собой радиоинтерферометр, который благодаря суточному вращению Земли поворачивается в потоке эфира. Для наблюдения интерференции волн применен способ измерения характеристик радиотрактов [27]. Сущность способа заключается в следующем. Из передающего пункта излучается зондирующий модулированный сигнал I с несущей частотой f_0 и частотами нижней ($f_1 = f_0 - F$) и верхней ($f_2 = f_0 + F$) боковых составляющих (F - частота модуляции). При распространении каждая i -ая составляющая сигнала I получает приращение фазы φ_i (индексы $i = 0, 1, 2$ соответствуют частотам $f_{0,1,2}$). В приемном устройстве составляющая принятого сигнала с частотой f_0 отдельно перемножается с каждой из боковых

составляющих, а фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ измеряется между результатами перемножений, имеющих разностные частоты. Выражение для $\Delta\varphi$ имеет вид

$$\Delta\varphi = (\varphi_0 - \varphi_1) - (\varphi_2 - \varphi_0) \quad (1)$$

Такая комбинация фаз инвариантна к изменению начала отсчета времени и получила в [28] наименование "фазовый инвариант". Найдем величину $\Delta\varphi$ при интерференции двух волн в пунктах радиолинии, показанной на рис.1. В этом случае фаза результирующего колебания с i -ой частотой может быть определена с помощью следующего известного выражения [29]:

$$\varphi_i = k_i r + \operatorname{arctg} \frac{R \sin(k_i \Delta r + \Theta)}{1 + R \cos(k_i \Delta r + \Theta)} \quad (2)$$

где $k_i = 2\pi/\lambda_i$ - волновое число; $\lambda_i = c/f_i$ - длина волны; c - скорость распространения радиоволн в неподвижном эфире ($W = 0$), в вакууме; R - модуль коэффициента отражения; Θ - фаза коэффициента отражения; Δr - разность хода между прямой и отраженной волнами. Поскольку в эксперименте $Z_{up} \ll r$, можно считать, что $\Theta \approx \pi$ [29]. Тогда (2) примет вид

$$\varphi_i = k_i r + \operatorname{arctg} \frac{-R \sin(k_i \Delta r)}{1 - R \cos(k_i \Delta r)} \quad (3)$$

Обозначим

$$M_i = \operatorname{arctg} \frac{-R \sin(k_i \Delta r)}{1 - R \cos(k_i \Delta r)} \quad (4)$$

Запишем (3) как $\varphi_i = k_i r + M_i$ и подставим φ_i в (1). Учитывая, что $k_{2,1} = k_0 \pm \Delta k$, $\Delta k = k_0 - k_1 = k_2 - k_0$, получим

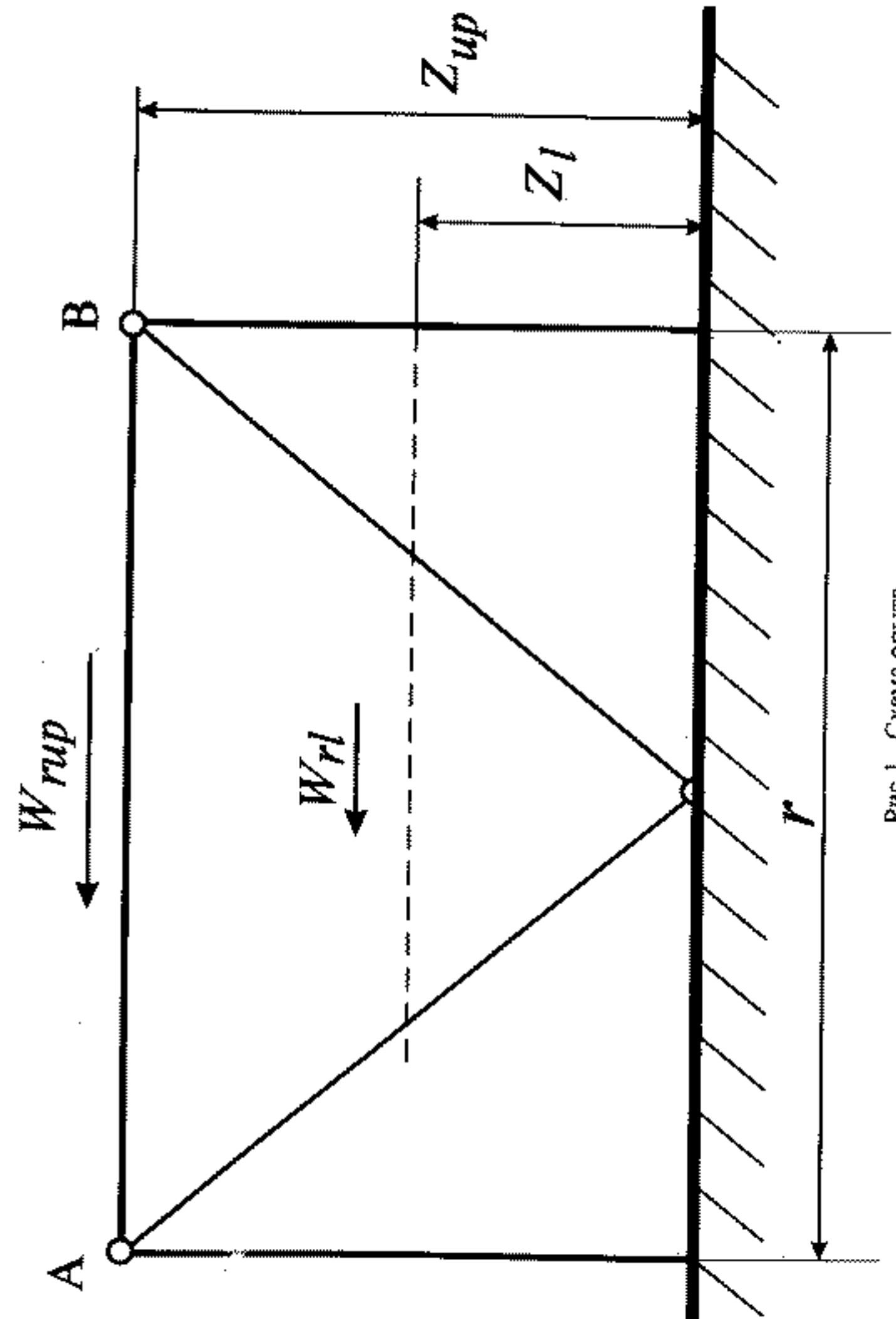


Рис.1. Схема опыта

$$\Delta\varphi = (M_0 - M_1) - (M_2 - M_0). \quad (5)$$

Разложим (4) в ряды Тейлора в окрестности точки $k_0\Delta r$ по степеням $(\Delta k \Delta r)$. Ограничиваясь первыми четырьмя членами разложения, запишем:

$$M_1 = M_0 - \Delta k \Delta r M_0' + \frac{1}{2} \Delta k^2 \Delta r^2 M_0'' - \frac{1}{6} \Delta k^3 \Delta r^3 M_0''' + \dots, \quad (6)$$

$$M_2 = M_0 + \Delta k \Delta r M_0' + \frac{1}{2} \Delta k^2 \Delta r^2 M_0'' + \frac{1}{6} \Delta k^3 \Delta r^3 M_0''' + \dots \quad (7)$$

Подставим значения величин M_1 , M_2 , определяемые выражениями (6), (7), в (5), получим

$$\Delta\varphi = -(\Delta k \Delta r)^2 M_0'' \quad (8)$$

Вычислим вторую производную M_0'' , тогда (8) примет вид

$$\Delta\varphi = -(\Delta k \Delta r)^2 \frac{R(1-R^2) \sin k_0 \Delta r}{(1+R^2 - 2R \cos k_0 \Delta r)^2} \quad (9)$$

Выражение (9) представляет величину $\Delta\varphi$ в случае интерференции двух волн – прямой и отраженной от земной поверхности. Для решения задач настоящего исследования результаты одновременных измерений величин $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$, в пунктах А и В соответственно, вычтем один из другого

$$\Phi = \Delta\varphi_A - \Delta\varphi_B \quad (10)$$

В рассматриваемом методе Φ является измеряемой величиной. В соответствии с принципом взаимности при распространении радиоволн в изотропной среде $\Phi = 0$. В случае анизотропной среды принцип взаимности не применим и $\Phi \neq 0$.

Из (9) следует, что при фиксированных значениях Δk и k_0 значение Δ

φ зависит от R и Δr . Сведения о значениях R можно найти, например в [26]. Значения этой величины в настоящей работе были определены экспериментально при изучении характеристик радиолонии. Разность хода Δr определяется геометрией радиолонии, но при распространении радиоволн в атмосфере, вследствие рефракции радиоволн, значение Δr зависит и от значения градиента g_n высотного профиля коэффициента преломления атмосферы $n(Z)$ [29]. При линейной (и близкой к ней) зависимости $n(Z)$ значение g_n в слое атмосферы $\Delta Z = Z_{up} - Z_l$ может быть определено как

$$g_n = (n_{up} - n_l) / \Delta Z \quad (11)$$

где n_{up} , n_l – коэффициенты преломления воздуха на высотах Z_{up} , Z_l .

В изотропном случае ($W_{up} = W_l = 0$) скорость распространения прямой волны равна $V_{up} = c/n_{up}$, скорость волны, отраженной от земной поверхности, $V_l = c/n_l$. Тогда (11), учитывая, что $V_{up}V_l \approx c^2$, может быть записано в следующем виде:

$$g_n = (V_l - V_{up}) / c \Delta Z \quad (12)$$

В анизотропном случае ($W_{up} > W_l > 0$, что соответствует положениям исходной гипотезы) скорость распространения радиоволн V и ее зависимость от высоты $V(Z)$ зависят от направления излучения, что обусловлено наличием градиентного потока среды распространения радиоволн – эфира (рис.1). В этом случае скорости распространения волн на высотах Z_{up} и Z_l равны:

$$V_{up} = \frac{c}{n_{up}} \pm W_{rup}, \quad V_l = \frac{c}{n_{up}} \pm W_{rl}, \quad (13)$$

где знак "+" применим, когда направление распространения радиоволн совпадает с направлением эфирного ветра, а знак "-", когда эти направления противоположны. Подставим значения V_{up} и V_l в (12). Если направления распространения радиоволн и эфирного ветра совпадают, получим

$$g_{n+} = \frac{1}{c\Delta Z} \left(\frac{c}{n_l} + W_{rl} - \frac{c}{n_{up}} - W_{rup} \right) \quad (14)$$

Раскроем скобки, тогда

$$g_{n+} = \frac{n_{up} - n_l}{\Delta Z n_l n_{up}} - \frac{W_{rup} - W_{rl}}{c\Delta Z} \quad (15)$$

Учитывая, что $n_l n_{up} \approx 1$, $(n_{up} - n_l)/\Delta Z = g_n$, а $(W_{rup} - W_{rl})/\Delta Z = g_{wr}$ - градиент радиальной составляющей скорости эфирного ветра в слое ΔZ , (15) можно записать как

$$g_{n+} \approx g_n - g_{wr}/c \quad (16)$$

Первый член суммы (16) представляет градиент высотного профиля коэффициента преломления атмосферы g_n в слое ΔZ . Второй член представляет собой добавку к g_n , обусловленную наличием градиента скорости в потоке эфирного ветра g_{wr} . При распространении радиоволн навстречу движению эфирного ветра можно получить

$$g_{n-} \approx g_n + g_{wr}/c \quad (17)$$

Из (16), (17) следует, что при наличии градиентного потока эфира рефракция волн, распространяющихся во встречных направлениях, будет различной в силу $g_{n+} \neq g_{n-}$. Зависимость разности хода волн Δr от градиента g_n рассмотрим применительно к экспериментальной радиолинии.

Экспериментальная радиолиния. Измерения проведены в приземной радиолинии прямой видимости протяженностью 13 км. Профиль радиолинии показан на рис.2.

На рисунке точки А и В - конечные приемопередающие пункты. Пункт А находился на северной окраине г. Харькова, пункт В - в

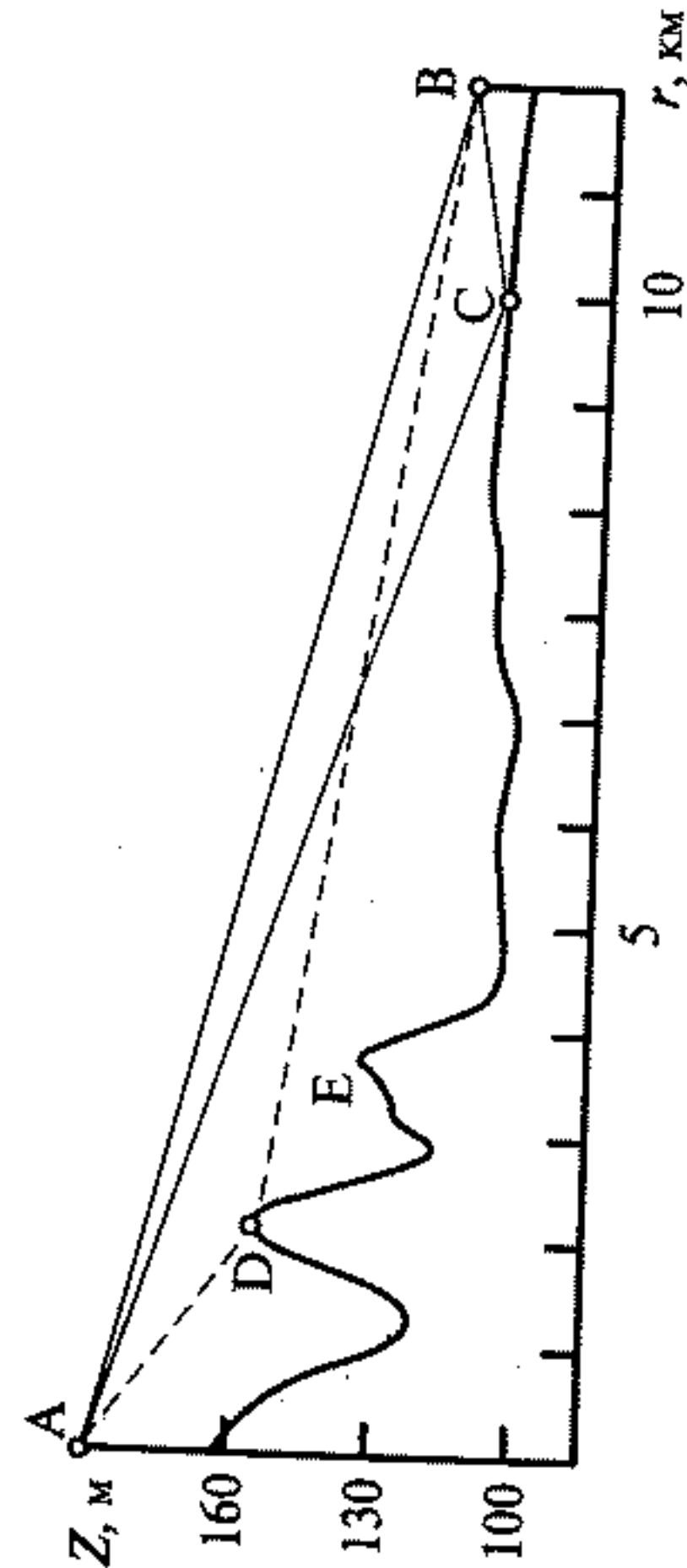


Рис. 2. Профиль экспериментальной радиолинии

с. Русские Тишки. Антенна пункта А находилась на высоте 30 м от поверхности земли, а антенна пункта В на высоте 12 м. Вершина холма D, местность в районе точки С и пункта В имеют травяной покров. Вершина холма Е занята лесопосадками. Средняя высота траектории АВ над поверхностью земли $Z_{cp} \approx 42$ м. Величина просвета над вершиной D, определенная геодезическим методом, составляет $H_1 \approx 25,3$ м. Расстояние от пункта А до вершины D $r_1 \approx 2200$ м. Азимут радиолинии, измеренный из пункта А относительно меридиана, $\alpha \approx 45^\circ$. Для уточнения механизма формирования полей в пунктах радиолинии в пункте А измерена вертикальная структура поля. Измерения выполнены летом, в августе месяце. Излучение велось антенной пункта В на несущей частоте зондирующего сигнала этого пункта. Вертикальное зондирование выполнено последовательным подъемом вспомогательного приемного устройства, снабженного антенной с относительно широкой диаграммой направленности ($\approx 10^\circ$). Подъем начинался от уровня расположения антенны пункта А. Результаты измерений показаны точками на левом фрагменте рис.3. Сплошная линия аппроксимирует вид измеренной структуры поля. На оси абсцисс отложена мощность P принимаемого сигнала в децибелах относительно условного уровня P_0 . По оси ординат отложена высота подъема вспомогательного приемного устройства в метрах.

Как видно из рис.3, структура высотного разреза содержит в основном две компоненты. Первая представлена несколькими периодами изменения, вторая — только частью своего периода. Измеренная структура может быть описана интерференцией трех волн: прямой волны (распространяющейся по пути ВА), волны, отраженной от вершины D (по пути ВDA), и волны, отраженной от местности в окрестности точки С (по пути ВСА).

Решение задачи о расчете поля при интерференции нескольких волн изложено в [29]. При вертикальном зондировании модуль множителя ослабления определяется следующей формулой:

$$|Q(Z_0)| = \left\{ \left[1 + \sum_{j=1}^I R_j \cos \gamma_j(Z_0) \right]^2 + \left[\sum_{j=1}^J R_j \sin \gamma_j(Z_0) \right]^2 \right\}^{1/2}, \quad (18)$$

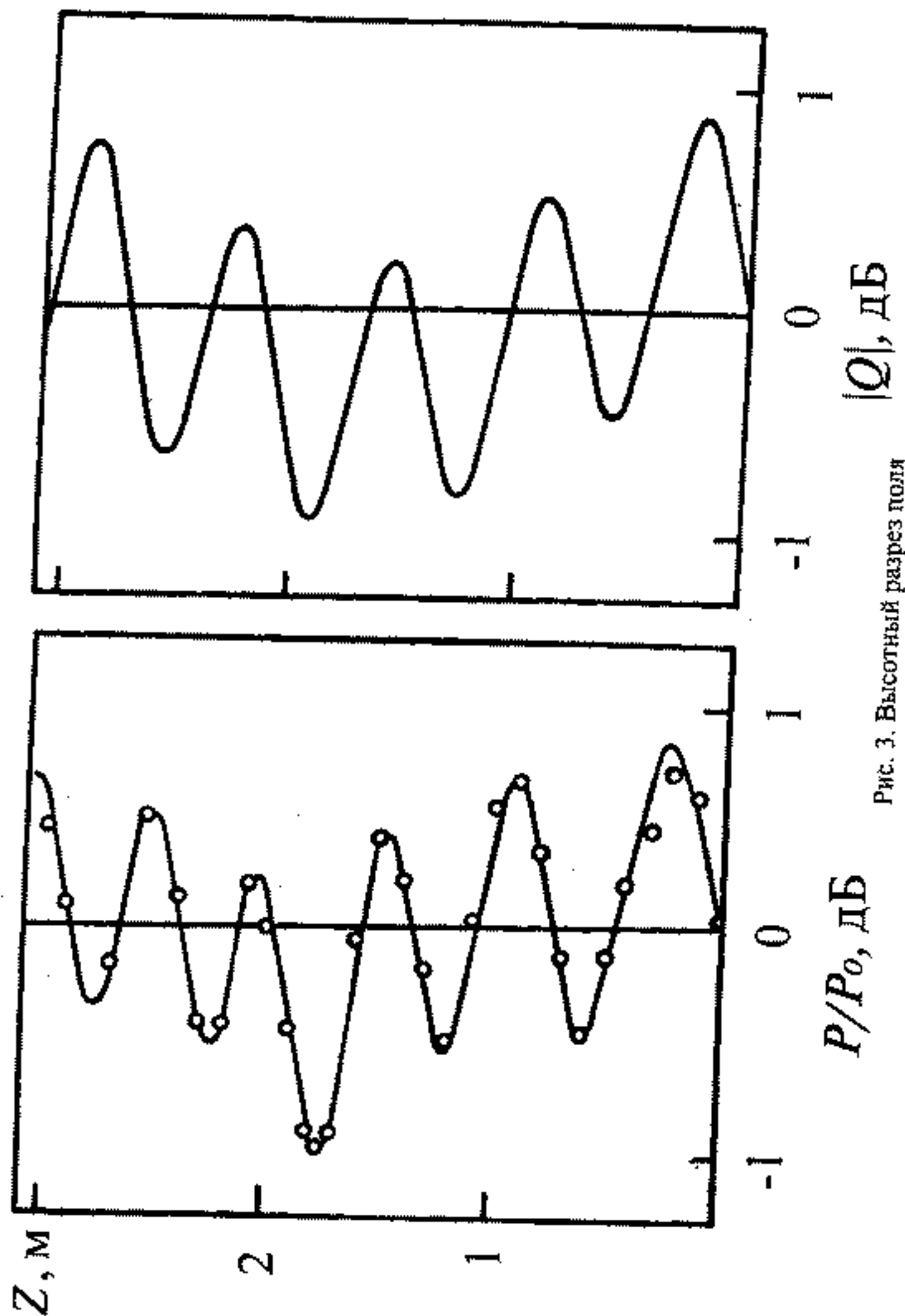


Рис. 3. Высотный разрез поля

где Z_a - высота подъема вспомогательного устройства; J - количество интерферирующих волн; j - номер волны, отраженной от j -ой точки на земной поверхности. Сдвиг фаз $\gamma_j(Z_a)$ между прямой и j -ой волной равен

$$\gamma_j(Z_a) = 2\pi\lambda^{-1}\Delta r_j(Z_a) + \Theta_j. \quad (19)$$

Разность хода волн при $g_n = 0$ равна

$$\Delta r_{0j}(Z_a) = \frac{[H_j + \Delta H_j(Z_a)]^2}{2rq_j(1-q_j)}, \quad (20)$$

где H_j - величина просвета над j -ой точкой отражения при $g_n = 0$; $\Delta H_j(Z_a)$ - добавка к величине H_j , которая зависит от Z_a ; $q_j = r_j/r$ - относительная координата j -ой точки отражения; r_j - расстояние от пункта А до j -ой точки отражения. Величина просвета при $g_n \neq 0$ определяется выражением

$$H_j(g_n) = H_j - 0,25r^2 g_n q_j (1 - q_j). \quad (21)$$

Величина добавки $\Delta H_j(Z_a)$ равна

$$\Delta H_j(Z_a) = (1 - q_j)Z_a. \quad (22)$$

На правом фрагменте рис.3 дан результат расчета, выполненный по формулам (18)-(22). При расчетах приняты следующие значения параметров точек отражения: $\Theta_{1,2} = \pi$; $r_1 = 2200$ м; $H_1 = 25,3$ м; $R_1 = 0,07$; $r_2 = 11000$ м; $H_2 = 24$ м; $R_2 = 0,04$; величина $g_n = -5,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$. Сравнительно малые значения R_1 и R_2 обусловлены расходимостью волн при отражении от выпуклой вершины D и тем, что участок С облучался боковым лепестком диаграммы направленности антенны пункта В. Из рис. 3 видно, что результаты расчетов в целом согласуются с результатами измерений. Имеющиеся отличия могут

быть объяснены тем, что расчет выполнен в предположении о независимости g_n от Z_a .

При проведении измерений, предусмотренных задачами настоящей работы, прием и передача зондирующих сигналов в пунктах А и В осуществлялись антеннами с ширинами диаграмм направленности $\approx 0,5^\circ$. В этом случае вершина D находилась вне главного лепестка диаграммы антенны пункта А. Поэтому величины сигналов, принимаемых в обоих пунктах с направлений от вершины D, были существенно меньше (на 17...20 дБ) величин сигналов, принимаемых с направлений от точки С. (Как отмечено, при вертикальном зондировании применялась вспомогательная антенна с шириной диаграммы направленности около 10° и вершина D находилась в главном лепестке такой антенны.) Поэтому дальнейшие оценки выполнены в рамках следующего предположения. Сигналы, принимаемые в пунктах А и В, представляют результаты интерференции волн, которые приходят в эти пункты по траекториям АВ и АСВ. Для расчетов приняты следующие параметры отражающего участка: $r_2 = 11000$ м; $H_2 = 24$ м; $R_2 = 0,04$. (Поскольку ниже рассматривается только этот участок, написание индексов опущено и считается, что $H_2 = H$; $R_2 = R$; $q_2 = q$; $\Delta r_{02} = \Delta r_0$.)

Для расчета зависимости Δr от g_n подставим в (20) значение H , определяемое (21), получим

$$\Delta r = \frac{H^2}{2rq(1-q)} - \frac{rH}{4} g_n + \frac{r^3 g_n^2}{32} q(1-q). \quad (23)$$

Первый член (23), согласно (20), представляет величину Δr_0 при $g_n = 0$, $Z_a = 0$. Вторым и третьим членами зависят от g_n . При этом в диапазоне изменения g_n , характерном для атмосферы [30-32], третий член не превышает 0,01 от значения второго. Величины Δr_0 и $rH/4$ определяются только геометрическими параметрами радиолинии. Пренебрегая в (23) третьим членом и обозначив $rH/4 = d$, получим

$$\Delta r \approx \Delta r_0 - dg_n. \quad (24)$$

В анизотропном случае ($W_{up} > W_l > 0$) из (16), (17) следует, что эффекты анизотропии и высоты приводят к появлению добавок к g_n величиной $\pm g_{wr}/c$. Подставим значения g_n , определяемые (16), (17), в (24). Получим, что при совпадении направлений распространения радиоволн и эфирного ветра разность хода равна

$$\Delta r_+ = \Delta r_0 - d(g_n - g_{wr}/c) \quad (25)$$

При распространении радиоволн навстречу движению эфирного ветра

$$\Delta r_- = \Delta r_0 - d(g_n + g_{wr}/c) \quad (26)$$

Из (25), (26) следует, что $\Delta r_+ > \Delta r$, $\Delta r_- < \Delta r$ и $\Delta r_+ \neq \Delta r_-$. Разница в значениях этих величин определяется значением градиента скорости эфирного ветра g_{wr} .

Оценим возможное значение g_{wr} . Оценки выполним для случая, когда горизонтальная составляющая скорости эфирного ветра принимает максимальное значение. Это должно наблюдаться в момент нижней кульминации апекса эфирного ветра (апекс пересекает меридиан в нижней точке). В [5] определено склонение апекса эфирного ветра $\delta_M = +65^\circ$, что выражено в экваториальной системе астрономических координат. Индекс "М" обозначает место измерения — обсерватория Mount Wilson. Ее географическая широта $\varphi_M = 34^\circ$ с.ш., высота над уровнем моря $Z_M \approx 1830$ м. В [5] измерялась скорость эфирного ветра в плоскости интерферометра, т.е. горизонтальная составляющая этой скорости W_M , равная

$$W_M = W \cos h_M, \quad (27)$$

где W — значение модуля скорости эфирного ветра на высоте Z_M , h_M — высота апекса в горизонтальной системе астрономических координат на широте φ_M . Исходя из результатов измерений, полученных Миллером на Маунт Вилсон и в Кливленде, высотная зависимость скорости эфирного ветра, предполагая экспоненциальный характер

этой зависимости, может быть аппроксимирована выражением

$$W_M(Z) = bW_M(1 - e^{-\beta Z}), \quad (28)$$

где $b = 1,136$; $\beta = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ — коэффициенты пропорциональности; W_M — значения скоростей эфирного ветра, измеренные в [5,6] на высоте Z_M ; Z — высота над уровнем моря. Выражение (28) дает возможность по результатам [5,6], полученным на высоте Z_M , рассчитать высотную зависимость скорости эфирного ветра $W_M(Z)$ на широте φ_M . В настоящей работе измерения проведены вблизи г. Харькова (Kharkov), на широте $\varphi_K = 50^\circ$ с.ш. Индекс "К", как и выше, обозначает место измерения. Полагая, что характер высотной зависимости скорости эфирного ветра в этой точке земного шара подобен зависимости (28), запишем

$$W_K(Z) = bW_K(Z_M)(1 - e^{-\beta Z}), \quad (29)$$

где $W_K(Z_M)$ — горизонтальная составляющая скорости эфирного ветра на широте φ_K , на высоте Z_M , которая может быть определена как

$$W_K(Z_M) = W \cos h_K, \quad (30)$$

где h_K — высота апекса эфирного ветра на широте φ_K . Из уравнений (27), (30) можно получить, что

$$W_K(Z_M) = W_M \cos h_K / \cos h_M. \quad (31)$$

Запишем h_K и h_M через величину склонения апекса δ_M и широты φ_K , φ_M . Воспользуемся соотношением для перехода от первой экваториальной системы астрономических координат к горизонтальной [33]

$$\cos h \cos A = -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t. \quad (32)$$

Здесь A – азимут апекса в горизонтальной системе астрономических координат; t и δ – часовой угол и склонение апекса в экваториальной системе координат соответственно; φ – географическая широта места наблюдения. В точке нижней кульминации апекса, как и для любой звезды, $A = 180^\circ$, $t = 12^h$ (в градусной мере $t = 180^\circ$) [33]. В этом случае (32) принимает вид

$$\cos h = \sin(\delta + \varphi). \quad (33)$$

Подставим значения $\cos h$, определяемые выражением (33), в (31).

Учитывая значения широт φ_K , φ_M и значение определенного в [5] склонения апекса δ_M , получим

$$W_K(Z_M) = W_M \sin(\delta_M + \varphi_K) / \sin(\delta_M + \varphi_M). \quad (34)$$

Тогда, учитывая (34), выражение (29) получит вид

$$W_K(Z) = bW_M \frac{\sin(\delta_M + \varphi_K)}{\sin(\delta_M + \varphi_M)} (1 - e^{-\beta Z}) \quad (35)$$

Выражение (35) позволяет по результатам [5,6], полученным на высоте Z_M , рассчитать высотную зависимость горизонтальной составляющей скорости эфирного ветра на широте φ_K . Поскольку радиолиния отклонена от меридиана на угол α , высотная зависимость радиальной составляющей скорости эфирного ветра в месте расположения радиолинии, в момент нижней кульминации апекса, равна

$$W_{rK}(Z) = bW_M \cos \alpha \frac{\sin(\delta_M + \varphi_K)}{\sin(\delta_M + \varphi_M)} (1 - e^{-\beta Z}). \quad (36)$$

Высотную зависимость градиента этой скорости найдем, дифференцируя (36) по переменной Z . Получим

$$g_{W_{rK}}(Z) = b\beta W_M \cos \alpha \frac{\sin(\delta_M + \varphi_K)}{\sin(\delta_M + \varphi_M)} e^{-\beta Z}. \quad (37)$$

Подсчитаем ожидаемое значение $g_{W_{rK}}$. В [5] величина $W_{M \max} \approx 9000$ м/с представляет среднее значение максимальных скоростей эфирного ветра, измеренных на протяжении всех месяцев наблюдений. Положив в (39) $W_M = W_{M \max}$ и $Z = Z_K = 150$ м (Z_K – высота радиолинии над уровнем моря), получим $g_{W_{rK}} \approx 6,4$ м/с·м.

Аппаратура. Выше изложена сущность метода измерения, принятого в настоящей работе. Отметим следующее. Выражение (1) представляет алгоритм обработки принятого сигнала I . В [27] показано, что при такой обработке нестабильности источников несущей и модулирующей частот не входят в (1) и тем самым не оказывают влияния на точность измерения величины $\Delta\varphi$. Это дало возможность существенно облегчить задачу создания и эксплуатации устройств, предназначенных для измерения фазовых характеристик радиолиний. При реализации способа в качестве источников излучения применены автогенераторы с параметрической стабилизацией их частот. Способ реализован в диапазоне длин радиоволн 8 мм и ранее был апробирован в [1-4]. Конечные пункты радиолинии были оснащены идентичными комплектами приемопередающей и регистрирующей аппаратуры. Передача и прием зондирующих сигналов в каждом из пунктов велась на одну антенну. Антенны идентичны и имеют зеркала диаметрами 1,1 м. Генераторы несущих колебаний имели частоты с величинами около 37 ГГц, а генераторы модулирующих колебаний 0,5 ГГц. Для разделения излучаемого и принятого сигналов частоты генераторов несущих колебаний отличались друг от друга на 50 МГц. В пункте А несущая частота $f_{0A} = 36,95$ ГГц, а в пункте В – $f_{0B} = 37$ ГГц. Выходная мощность каждого из передающих устройств, выполненных на диодах Ганна, около 70 мВт. Генераторы несущих и модулирующих колебаний с сопутствующими узлами размещены в термостатах. Аппаратурный комплекс содержал системы автоматической подстройки частот. Аппаратура прошла всесторонние лабораторные испытания на стенде

и в составе измерительного комплекса в диапазоне температур окружающей среды $-25^{\circ}\text{C} \dots +35^{\circ}\text{C}$ в различных метеорологических условиях. В обоих конечных пунктах для регистрации использовались одноканальные самописцы. В пункте А для регистрации амплитуды принимаемого сигнала использовался дополнительный самописец. Эта информация позволяла выделять интервалы времени, на протяжении которых выпадали гидрометеоры (дождь, снег), что не всегда можно было определить визуально. Амплитудный канал выполнял также функцию непрерывного контроля работы измерительной системы. Анализ реальных характеристик аппаратуры и результатов ее испытаний показал, что σ_p - результирующая среднеквадратическая аппаратная ошибка измерения величин Φ не превышает 2,4%.

Работа радионтерферометра. В принятом методе измерения в соответствии с (10) измеряемая величина Φ представляет собой разность значений фазовых инвариантов зондирующих сигналов, принятых одновременно в пунктах радиолинии. Учитывая (9), (27), (28), выражение для Φ запишем в следующем виде:

$$\Phi = -k_{0B}^2 \Delta r_+^2 \frac{R(1-R^2) \sin k_{0B} \Delta r_+}{(1+R^2 - 2R \cos k_{0B} \Delta r_+)^2} + k_{0A}^2 \Delta r_-^2 \frac{R(1-R^2) \sin k_{0A} \Delta r_-}{(1+R^2 - 2R \cos k_{0A} \Delta r_-)^2}, \quad (38)$$

где индексы при k_{0A} и k_{0B} отражают различие несущих частот зондирующих сигналов, принимаемых в пунктах А и В соответственно. Первый член правой части (38) представляет величину $\Delta\varphi_A$, второй - $\Delta\varphi_B$. Выражение (38) записано в соответствии с положением исходной гипотезы о северном апексе эфирного ветра. В этом случае величины Δr_+ и Δr_- определяются выражениями (25), (26) соответственно. Рассмотрим особенности работы метода измерения, которые обусловлены его конкретной технической реализацией.

Рассмотрим изотропный случай ($W_{up} = W_l = 0$), что в рамках принятой гипотезы соответствует распространению радиоволн в эфире, неподвижном относительно наблюдателя (радиолинии) в присутствии изотропной атмосферы. (В рамках современных общепринятых представлений это адекватно отсутствию в природе такой среды, как

эфир.) В этом случае скорость распространения радиоволн не зависит от направления излучения, но зависит от высоты над земной поверхностью $V(Z) = c/n(Z)$. Поскольку $W_{up,l} = 0$ и $g_{w,r} = 0$, согласно (25), (26), (24), получим $\Delta r_+ = \Delta r_- = \Delta r$. Тогда, если в (38) положить, что $k_{0B} = k_{0A}$, получим $\Phi = 0$ и это равенство, согласно принципу взаимности, не зависит от свойств промежуточного пространства.

Однако при реализации метода было принято техническое решение в котором значения несущих частот зондирующих сигналов, излучаемых каждым из пунктов радиолинии, отличались. Поскольку $k_{0B} \neq k_{0A}$, $\Phi \neq 0$, что будем рассматривать как ошибки измерений $\Delta\Phi$.

С помощью (38), (24) определим величины $\Delta\Phi$ в зависимости от изменения таких параметров, как g_n и R . Для выполнения расчетов оценим возможные диапазоны изменения величин g_n и R . По данным [30-32], в слое воздуха 25-50 м над земной поверхностью средние значения g_n изменяются от $-4,25 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ зимой до $-5,95 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ летом. Весной и осенью такие данные занимают промежуточные значения. На протяжении суток значения g_n в среднем изменяются следующим образом: $(-3,6 \dots -4,9) \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ зимой и $(-5,5 \dots -6,4) \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ летом.

Согласно [26], на равнинных трассах с травяным покровом на волне 8 мм изменение значений R лежит в пределах 0,2 ... 0,5 в период активной вегетации до 0,4 ... 0,7 после увядания травы, оставаясь приблизительно такими же при наличии рыхлого снежного покрова.

Наиболее высокие значения коэффициента отражения, достигавшие 0,7 ... 0,8, отмечены в период таяния снега. При вычислении ошибок $\Delta\Phi$ диапазон изменения R выбран в пределах 0,03 ... 0,07, что обусловлено указанными выше особенностями формирования отраженной волны в радиолинии. Выбранный диапазон изменения R согласован по величине с диапазоном ее изменения, измеренным в [26], и включает в себя значение $R = 0,04$, которое определено в настоящей работе из результатов вертикального зондирования поля в экспериментальной радиолинии. Зондирование выполнено в конце лета, когда травяной покров представлял собой увядающую растительность. На основании результатов [26] и данных вертикального зондирования можно полагать, что значения $R \approx (0,04-0,05)$ близки к среднему значению этой величины в радиолинии на протяжении части года, с сентября по март, в котором выполнялись

измерения. Такой диапазон измерения R будем использовать при выполнении оценок параметров эфирного ветра.

На двух фрагментах рис.4 представлены результаты расчетов значений ошибок $\Delta\Phi$ и величин $\Delta\varphi$ в зависимости от значений градиента g_n для трех значений R .

Ось абсцисс у этих фрагментов общая. Для наглядности на ней отложены значения g_n и соответствующие им значения Δr . Соответствие между этими величинами устанавливалось с помощью (24). По осям ординат отложены значения $\Delta\Phi$ и $\Delta\varphi$ в градусах. На нижнем фрагменте, для $R = 0,05$, приведены две кривые $\Delta\varphi_A(g_n)$ - сплошная линия и $\Delta\varphi_B(g_n)$ - пунктирная линия. Как видно, кривые смещены относительно друг друга. Это обусловлено отличием значений несущих частот зондирующих сигналов, что и приводит к появлению ошибок $\Delta\Phi$. Кривые $\Delta\varphi_A(g_n)$ и $\Delta\varphi_B(g_n)$ представляют положение максимумов и минимумов интерференционных картин в пунктах А и В. (Аналог - интерференционная картина в оптическом интерферометре.) Рабочий участок радиоинтерферометра, в пределах которого проводились измерения, обозначен в нижней части фрагмента отрезком прямой жирной линии. Такие же зависимости для значений $R = 0,03$ и $R = 0,07$ отражены на фрагменте кривыми $\Delta\varphi_A(g_n)$, показанными только в пределах рабочего участка радиоинтерферометра. На верхнем фрагменте рис.4 приведены результаты расчетов ошибок $\Delta\Phi$, выполненных для трех значений R . В нижней части этого фрагмента отрезком штрихпунктирной линии обозначен диапазон изменения величины g_n , который был определен из [30-32]. Из рис.4 и результатов расчетов следует, что во всем указанном диапазоне изменения градиента g_n величина $\Delta\Phi$ изменяется в следующих пределах: при $R = 0,04$ от $\Delta\Phi_{\min} = 0,87^\circ$ до $\Delta\Phi_{\max} = 1,18^\circ$; при $R = 0,05$ от $\Delta\Phi_{\min} = 1,09^\circ$ до $\Delta\Phi_{\max} = 1,43^\circ$. Расчеты показали, что ошибка $\Delta\Phi$ является систематической и может считаться поправкой.

Суточные и сезонные вариации температуры окружающей среды могут приводить к изменению геометрии радиолинии - изменению величины Δr_0 , и при $f_{0A} \neq f_{0B}$ возможно появление ошибок $\Delta\Phi_T$. Можно полагать, что длина радиолинии при этом остается неизменной, т.к. конечные пункты радиолинии расположены на бетонных зданиях, фундаменты которых находятся в слое незамерзающего грунта при

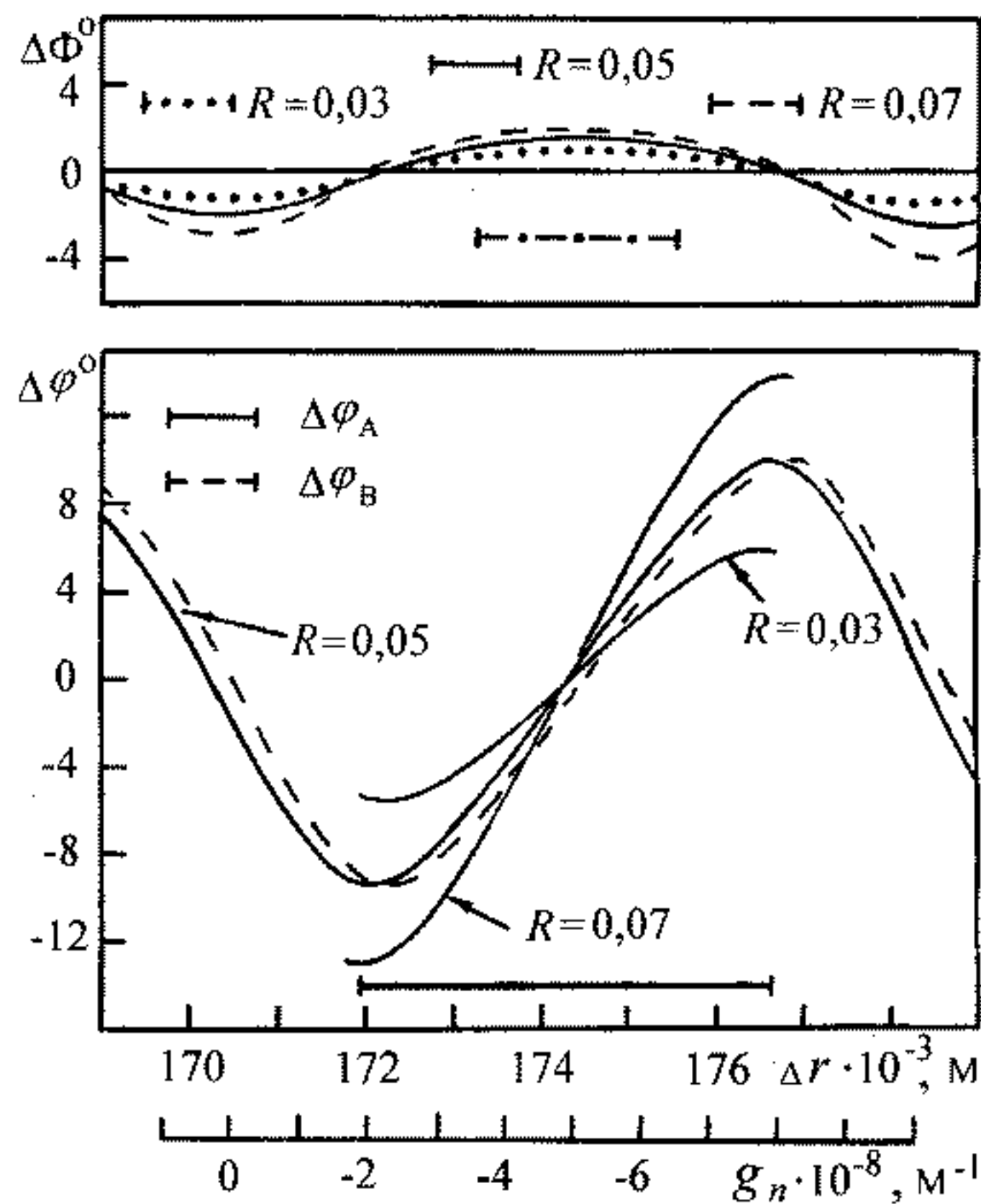


Рис. 4. Зависимость ошибки измерения от градиента вертикального профиля преломления атмосферы

практически постоянной температуре. Тем не менее расчет ошибок $\Delta\Phi_T$ был выполнен в предположении, что вся радиолиния размещалась на бетонном основании длиной 13000 м. Оказалось, что в диапазоне температур $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ значение $\Delta\Phi_T \leq 0,01^\circ$. Несколько большие ошибки могут появляться при температурном изменении высот конечных пунктов радиолинии. В этом случае при $\Delta T = 50^\circ\text{C}$, $\Delta\Phi_T \leq 0,05^\circ$. Расчеты проведены при $R = 0,07$. Как видно, ошибки $\Delta\Phi_T$ малы, и ими можно пренебречь. Выполненный анализ показал, что в изотропном случае метод измерения практически нечувствителен к изменению параметров внешней среды. Выявленные ошибки невелики и представляют собой систематическое смещение, которое будем считать поправкой.

В анизотропном случае ($W_{up} > W_l > 0$, что соответствует положениям исходной гипотезы) из (38), (25), (26) следует, что измеряемая величина Φ зависит от градиента радиальной составляющей скорости эфирного ветра g_{wr} и величины R . На рис.5 приведены результаты расчетов зависимостей $\Phi(g_{wr})$, выполненных при $g_w = -5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$ для четырех значений R .

На оси ординат отложены значения величины Φ в градусах. Приведенное на рис.5 семейство кривых позволяет по результатам измерений величины Φ определить значения g_{wr} . Поскольку величина g_{wr} определяется как производная от профиля $W_r(Z)$, величина Φ пропорциональна скорости эфирного ветра W_r .

Выражения (38), (24), (25) показывают важное свойство принятого метода измерения, необходимое для решения задач настоящего исследования. Измеряемая величина не равна нулю (величина поправки учтена) только в том случае, если одновременно имеют место два эффекта эфирного ветра - эффект анизотропии и эффект высоты. Действительно, легко видеть, что $\Phi \neq 0$ только в тех случаях, когда $W_{up} \neq W_l \neq 0$. В противных случаях, когда $W_{up} = W_l$ (т.е. $g_{wr} = 0$) или $W_{up} = W_l = 0$, измеряемая величина $\Phi = 0$. Другими словами, метод чувствителен к относительному движению Земли и среды распространения электромагнитных волн - эфира только в том случае, если эта среда при своем движении образует вблизи земной поверхности градиентный слой, т.е. если среда проявляет свойство вязкости - свойство, присущее материальным средам, которые

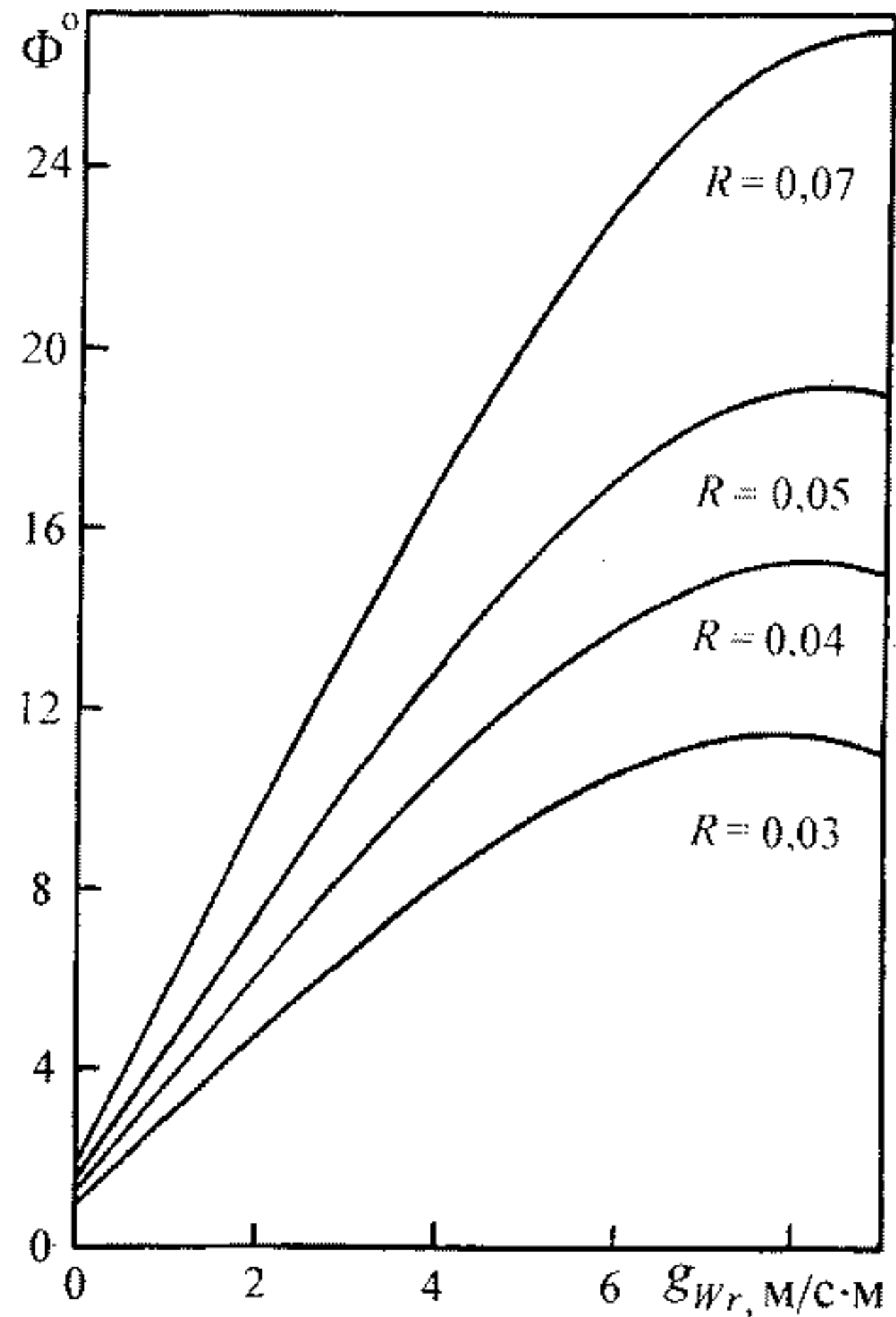


Рис. 5. Зависимость измеряемой величины от градиента скорости эфирного ветра

образованы из отдельных частиц. Следовательно, эффекты анизотропии и высоты могут обнаруживаться с помощью рассмотренного метода измерения в едином акте измерения. Космический эффект также может быть обнаружен в этом едином акте измерения, поскольку для выявления периодической компоненты результаты этих же измерений должны подвергаться процедуре усреднения в масштабе звездного времени.

Методика измерений. Зондирующие сигналы I_A и I_B излучались навстречу друг другу из пунктов А и В соответственно. Одновременно в каждом из пунктов осуществлялись прием зондирующих сигналов и их обработка согласно принятому способу измерения. В обоих пунктах измеренные значения величин $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$ записывались на лентах самописцев. Метки времени вырабатывались в пункте А и с помощью сигнала I_A передавались в пункт В. Таким способом эти метки синхронно записывались самописцами обоих пунктов. Измерения проводились непрерывно и круглосуточно. Калибровка аппаратуры и контроль ее функционирования осуществлялась с помощью автономного устройства, которое вырабатывало испытательный сигнал с контролируемыми параметрами и спектром, аналогичным спектру зондирующего сигнала. Такие операции проводились периодически, как правило, 1 раз за 1 час работы.

Методика обработки результатов измерений. Обработка результатов измерений величин $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$ включала в себя процедуры вычисления измеряемой величины Φ ; ее суточного хода в течение отдельных звездных суток $\Phi_d(S)$; ее суточного хода в течение звездных суток, усредненного за весь цикл измерений $\overline{\Phi(S)}$; среднеквадратического отклонения σ_Φ .

Величины $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$ были представлены на отдельных диаграммных лентах в виде непрерывных записей. Запись амплитуды сигнала использовалась для выделения участков выполюненных при выпадении гидрометеоров. Такие участки исключались из дальнейшей обработки. На всех лентах синхронно записаны метки звездного времени. С этих лент, с помощью отдельной подвижной шкалы, через

один час звездного времени делались отсчеты величин $\Delta\varphi_A(S)$, $\Delta\varphi_B(S)$ и заносились в таблицу соответствующей даты наблюдений. В эту же таблицу для каждого из этих часов звездных суток заносились вычисленные по формуле (10) значения измеряемой величины $\Phi(S)$. Последовательность таких чисел, полученная за отдельные звездные сутки, описывает суточный ход $\Phi_d(S)$. Вычисленные величины заносились в другую таблицу. Для каждого часа звездных суток этой таблицы вычислялось среднее значение измеряемой величины

$$\overline{\Phi(S)} = \frac{1}{\rho} \sum_{j=1}^{\rho} \Phi_j(S), \quad (39)$$

где ρ - количество отсчетов величины Φ , сделанных на протяжении всего цикла измерений в звездное время, равное S . Среднеквадратические отклонения величин Φ от его среднего значения вычислялись для каждого часа звездного времени с помощью следующего известного выражения [34]:

$$\sigma_\Phi(S) = \sqrt{\frac{1}{\rho} \sum_{j=1}^{\rho} [\Phi_j(S) - \overline{\Phi(S)}]^2}. \quad (40)$$

Результаты измерений. В настоящей работе рассматриваются результаты, которые получены на протяжении 5 месяцев, с сентября 1998 г. по январь 1999 г. Измерения проводились круглосуточно, исключая выходные и праздничные дни и случаи, когда по техническим причинам в один из измерительных пунктов не подавалась электроэнергия. Общее время непрерывных измерений составило 1288 часов. На рис.6 представлены примеры записей результатов измерений 9 ноября 1998 г.

Рисунок составлен из совмещенных во времени фрагментов трех диаграммных лент с записями следующих величин: амплитуды сигнала, принятого в пункте А (верхняя кривая); фазового инварианта $\Delta\varphi_A$; фазового инварианта $\Delta\varphi_B$ (нижняя кривая). Фрагменты иллюстрируют типичные изменения регистрируемых величин.

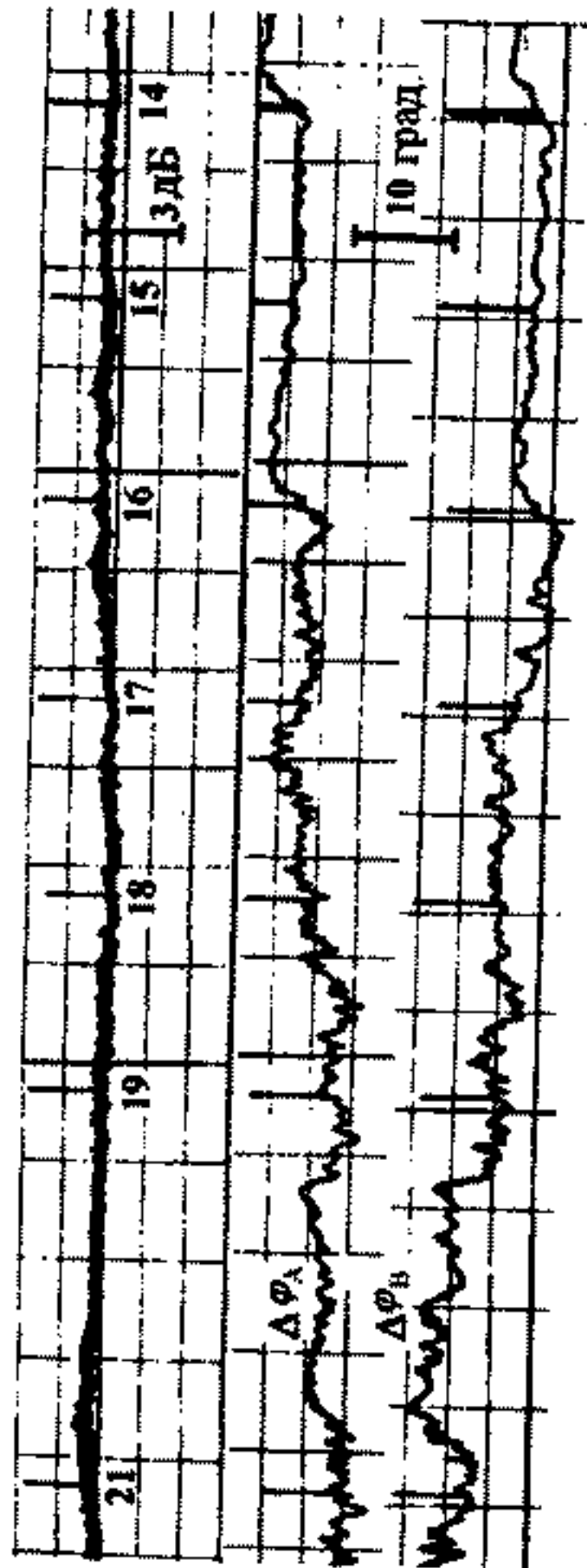


Рис. 6. Пример записей регистрируемых величин

Скорости протяжки диаграммных лент 20 мм/час. На рисунке вертикальные штрихи представляют собой метки времени. Цифры под штрихами указывают величину звездного времени в часах. Направление течения времени справа налево. В правой части рисунка нанесены масштабные отрезки для оценки изменения амплитуды сигнала в децибелах и изменения величин фазовых инвариантов в градусах. На рисунке видно изменение во времени разности между величинами $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$, т.е. изменение измеряемой величины $\Phi = \Delta\varphi_A - \Delta\varphi_B$. С момента $S = 14$ час до $S = 21$ час значение Φ изменилось на $\approx 11^\circ$. Различия между флуктуациями величин $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$ могут быть объяснены следующим. Радиоволны распространяются в радиолинии во встречных направлениях. Согласно исходной гипотезе, средой их распространения является эфир - материальная среда, обладающая свойствами вязкого и сжимаемого газа. При движении эфира вблизи шероховатой земной поверхности, как и при движении любого вязкого и сжимаемого газа, в потоке эфира образуется градиентный слой скорости, и такое движение сопровождается флуктуациями параметров этого потока. (Возможны и иные причины таких флуктуаций.)

Флуктуации скорости эфирного ветра и градиента этой скорости g_H приводят к флуктуациям величин $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$. Из (25), (26) и нижнего фрагмента рис.4 следует, что такие флуктуации антикоррелированы. В то же время распространение радиоволн в эфире происходит в присутствии изотропной атмосферы. Известные флуктуации параметров атмосферы [29] также будут приводить к флуктуациям $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$. Из (23) и нижнего фрагмента рис.4 следует, что флуктуации g_H приводят к коррелированным флуктуациям величин $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$. Следовательно, в рамках принятой гипотезы флуктуации каждой из величин $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$ являются суперпозицией флуктуаций, обусловленных указанными причинами. Кроме этого, из (16), (17) следует, что при $g_H \neq 0$, $g_{H_1} \neq g_{H_2}$. В этом случае рефракция радиоволн, распространяющихся во встречных направлениях в движущемся эфире, различна. Траектории радиоволн проходят в областях пространства с отличающимися характеристиками, а отражающие участки на земной поверхности смещены относительно друг друга. Это может приводить к декорреляции флуктуаций величин $\Delta\varphi_A$ и $\Delta\varphi_B$. Рассмотренные особенности формирования флуктуаций величин $\Delta\varphi_A$ и

$\Delta\varphi_{\text{в}}$ поясняют имеющиеся в них различия, которые видны на рис.6.

Результаты систематических измерений были подвергнуты статистической обработке. На рис.7 приведен средний суточный ход измеряемой величины в течение звездных суток $\overline{\Phi}(S)$.

По оси абсцисс нанесено звездное время S в часах, по оси ординат - значения измеряемой величины в градусах. Вертикальными штрихами обозначены доверительные интервалы, определенные как $\overline{\Phi}(S) \pm \sigma_{\Phi}(S)$. Из рис.7 следует, что результаты измерений определенно не нулевые и не являются случайными ошибками наблюдений. Зависимость $\overline{\Phi}(S)$ имеет выраженную форму периодически изменяющейся величины с периодом, равным одним звездным суткам, т.е. измеренный эффект имеет космическое происхождение. Выше показано, что измеряемая величина не равна нулю только в том случае, если одновременно имеют место два эффекта эфирного ветра - эффект анизотропии, обусловленный относительным движением Земли и среды распространения радиоволн, и эффект высоты, обусловленный наличием градиентного слоя скорости в потоке этой среды. Положительные результаты измерений, приведенные на рис.7, показывают, что оба этих искомых эффекта эфирного ветра имеют место одновременно. Следовательно, в едином эксперименте, в едином акте измерения показано проявление космического эффекта, эффекта анизотропии и эффекта высоты.

Сравним результаты измерений настоящей работы с результатами [5] и [11]. При сравнении будем пользоваться максимальными значениями измеренных величин. Значения $g_{\text{вгк}}$ определим с помощью зависимостей $\Phi(g_{\text{вгк}})$, которые приведены на рис.5. Такие значения величины $g_{\text{вгк}}$ будем называть измеренными. Значения измеренного градиента горизонтальной составляющей скорости эфирного ветра $g_{\text{вгк}}$ можно найти следующим образом:

$$g_{\text{вгк}} = g_{\text{вгк}} / \cos \alpha, \quad (41)$$

что следует из вывода выражений (35) - (37). Выражение (37) позволяет сравнивать результаты измерений настоящей работы с данными [5, 11]. Действительно, положив в (37) $Z = Z_{\text{к}}$ можно найти,

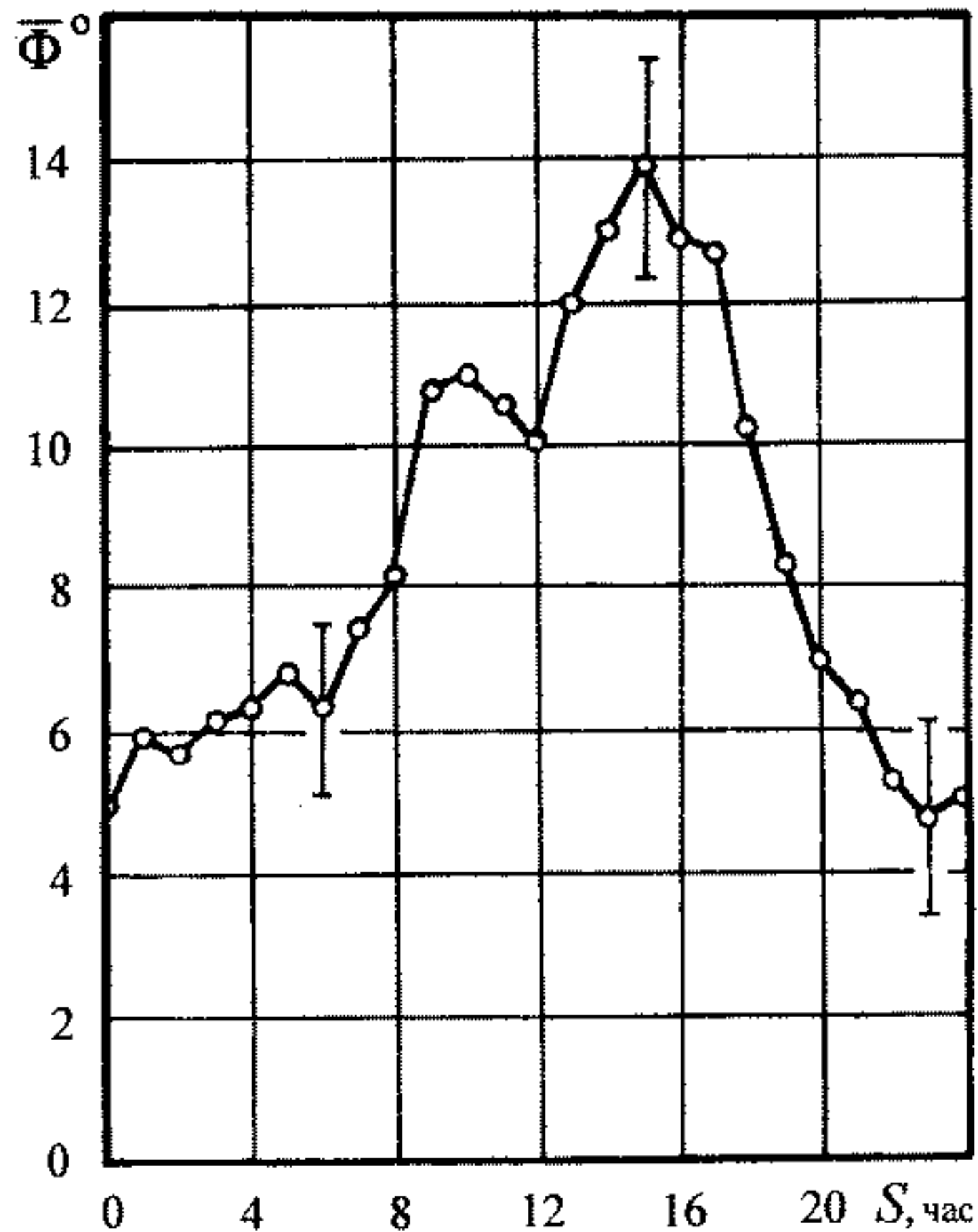


Рис. 7. Средний суточный ход измеряемой величины

что

$$W_M = \frac{g_{WTK} \cdot e^{\beta Z_K} \sin(\delta_M + \varphi_M)}{b \beta \cdot \cos \alpha \sin(\delta_M + \varphi_K)} \quad (42)$$

Выражение (42) позволяет с помощью измеренных значений g_{WTK} подсчитать значения W_M . Такие вычисленные с помощью (42) значения W_M обозначим, как W_{MK} и будем трактовать эту величину следующим образом: W_{MK} - горизонтальная составляющая скорости эфирного ветра на географической широте φ_M , высоте Z_M , вычисленная по результатам измерений градиента скорости эфирного ветра на широте φ_K и высоте Z_K .

Подставим значение W_M , определяемое (42), в (36). Получим, что радиальная составляющая скорости эфирного ветра в радиолинии может быть определена с помощью следующего выражения:

$$W_{TK} = g_{WTK} (e^{\beta Z_K} - 1) / \beta \quad (43)$$

Соответственно горизонтальная составляющая этой скорости равна

$$W_K = W_{TK} / \cos \alpha \quad (44)$$

Рассчитанные с помощью (43), (44) значения W_{TK} и W_K будем также называть измеренными.

Результаты измерений параметров эфирного ветра и результаты работ [5, 11] приведены в таблице.

Параметры эфирного ветра					
$\bar{\Phi}$, град	G_{WTK} , м/с·м	W_K , м/с	W_{MK} , м/с	W_M , м/с [5]	W_M , м/с [11]
14	$\frac{8,63}{6,22}$; (9,05)	$\frac{1414}{1019}$	$\frac{8490}{6124}$	9000	6000

Первая колонка таблицы представляет результат измерений величины $\bar{\Phi}(s)_{\max}$ в градусах. Колонки 2,3,4 - результаты оценок, полученные с помощью выражений (41), (44), (42) соответственно. Данные о параметрах эфирного ветра представлены в таблице в виде дробей. Числитель соответствует значению параметра, полученного при $R = 0,04$, а знаменатель - при $R = 0,05$. Такая форма представления результатов обусловлена тем, что в процессе экспериментов не проводилось систематического измерения значений R . Цифра в колонке 2, заключенная в скобки, представляет вычисленное с помощью (37), (41) значение g_{WTK} , что будем называть ожидаемым значением градиента скорости эфирного ветра в г. Харькове. Колонка 5 представляет максимальное значение скорости эфирного ветра, полученное при усреднении результатов измерений, выполненных на обсерватории Маунт Вилсон [5] в апреле, августе и сентябре 1925 г. Колонка 6 представляет максимальное значение скорости эфирного ветра, измеренное на обсерватории Маунт Вилсон в эксперименте [11], 1929 г. Выполненные оценки показали, что в г. Харькове скорость эфирного ветра достигает значения $W_K \approx 1414$ м/с. С помощью (42) результаты измерений настоящей работы пересчитаны к месту расположения обсерватории Маунт Вилсон. Полученное значение $W_{MK} \approx 8490$ м/с близко к результату [5] $W_M = 9000$ м/с. Несколько меньшие значения величины W_{MK} (учитывая оценки при $R = 0,05$) по сравнению с результатом [5] могут быть объяснены различными условиями проведения сопоставляемых опытов. В настоящей работе измерения проведены на слабопересеченной местности. Перепад высот окружающего рельефа составляет около 20 м. Эксперимент [5] выполнен на вершине горы, и окружающая местность лежала существенно ниже места проведения измерений. Можно полагать, что в первом случае влияние окружающего рельефа местности на величину скорости эфирного ветра больше, чем в случае работы [5]. Такое предположение о влиянии земной поверхности и местных предметов (близко расположенные к радиолинии холмы, здания и т.п.) находит подтверждение при сравнении результатов [5] и [11]. Так, меньшие значения скорости эфирного ветра в [11] по сравнению с данными [5] объясняются в [7] торможением потока эфира стенами здания, в котором находился интерферометр авторов работы [11]. Миллер [5] на

обсерватории Маунт Вилсон для проведения измерений построил легкий деревянный домик. На всех его сторонах имелись непрерывные окна из белого брезента. В 1929 г. там же, на Маунт Вилсон, Майкельсон, Пис, Пирсон [11] провели подобный эксперимент в фундаментальном здании оптической мастерской обсерватории. В результате измеренная скорость эфирного ветра составила не более 6000 м/с.

Значение скорости эфирного ветра, измеренное в настоящей работе в диапазоне радиоволн, близко к значениям скоростей эфирного ветра, измеренным в оптическом диапазоне электромагнитных волн в экспериментах Миллера [5,6], Майкельсона, Писа, Пирсона [11]. Результат такого сравнения можно рассматривать как взаимное подтверждение достоверности результатов настоящего исследования, эксперимента [5,6] и эксперимента [11].

Поскольку в прежних работах измерения градиента скорости эфирного ветра не выполнялись, измеренные значения $g_{\text{ЭК}}$ сравним с ожидаемым (вычисленным) значением этой величины. Как видно из таблицы (колонка 2), результаты измерения величины $g_{\text{ЭК}}$ близки к ее вычисленному значению.

Выполненный анализ показал, что результаты настоящей работы могут быть объяснены явлением распространения радиоволн в движущейся среде космического происхождения с градиентным слоем скорости в потоке этой среды вблизи земной поверхности. Наличие градиентного слоя свидетельствует о том, что эта среда обладает вязкостью - свойством, присущим материальным средам, т.е. средам, состоящим из отдельных частиц. Таким образом, результаты выполненного эксперимента согласуются с положениями исходной гипотезы о существовании в природе материальной среды эфира.

Заключение. В работе предложен и реализован в диапазоне миллиметровых радиоволн метод измерения параметров анизотропных сред распространения электромагнитных волн. Результаты систематических экспериментальных исследований, выполненные в приземной радиолинии прямой видимости, показали:

- наличие относительного движения Земли и среды распространения радиоволн;

- поток среды распространения радиоволн имеет космическое происхождение;

- среда распространения радиоволн обладает вязкостью - свойством, присущим материальным средам, состоящим из отдельных частиц.

Результаты работы могут рассматриваться как экспериментальное подтверждение гипотезы о существовании в природе такой материальной среды, как эфир.

В заключение приношу глубокую благодарность директору Русско-Тишковской средней школы А.В.Кочатку за помощь при обеспечении работы выносного измерительного пункта.

Литература

1. Галаев Ю.М., Жуков Б.В., Кивва Ф.В. Изменчивость полосы пропускания приземной линии связи миллиметрового диапазона радиоволн // Научное приборостроение в мм. и суб. мм. диапазонах радиоволн: Сб. науч. тр. Харьков: Институт радиофизики и электроники АН Украины. - 1992. - С.63-72.
2. Kivva F.V., Galaev Y.M. Dispersion effects in frequency windows of mm wave range radio waves // Atmospheric Propagation Technical Exchange Proceedings: ARL, Orlando, FL, USA. - 1993. - P.509-517.
3. Galaev Y.M. Model of radio wave dispersion in atmosphere // Atmospheric Propagation and Remote Sensing III. Edited by Walter A.Flood and Walter B.Miller, Proc. SPIE 2222. - 1994. - P.851-861.
4. Галаев Ю.М., Кивва Ф.В. Широкополосная линия связи миллиметрового диапазона радиоволн. Эксперимент. Модель. // 7-я Международная крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо'97). Труды конференции: Севастополь, Крым, Украина. - 2. - 1997. - С.670-673.
5. Miller D.C. Significance of the ether-drift experiments of 1925 at Mount Wilson // Science. - 1926. - LXIII, № 1635. - P.433-443.
6. Miller D.C. The ether-drift experiment and the determination of the absolute motion of the Earth // Rev. Modern Phys. - 1933. - 5, № 3. - P.203.
7. Эфирный ветер. Сб. ст. под ред. д.т.н. В.А. Ацюковского. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 289 с.
8. Michelson A.A. The relative motion of the Earth and the Luminiferous ether // The American Journal of Science. - 1881. - III series, XXII, № 128. - P.120-129.
9. Miller D.C. Ether drift experiment at Mount Wilson // Proc. Nat. Acad. Amer. - 1925/11. - P.306-314.
10. Вавилов С.И. Новые поиски "эфирного ветра" // Успехи физических наук. - 1926. - 6. - С.242-254.
11. Michelson A.A., Pease F.G., Pearson F. Repetition of the Michelson - Morley experiment // Journal of the Optical Society of America and Review of Scientific Instruments. - 1929. - 18, № 3. - P.181-182.
12. Kennedy R.J. A refinement of the Michelson - Morley experiment // Proc. Nat. Acad. Sci. of USA. - 1926. - 12. - P.621-629.

13. *Illingworth K.K.* A repetition of the Michelson - Morley experiment using Kennedy's refinement // *Physical Review.* - 1927. - 30. - P.692-696.
14. *Stahel E.* Das Michelson - Experiment, ausgeführt im Freiballon // *Die Naturwissenschaften*, Heft 41. - 1926. - 8, № 10. - S.935-936.
15. *Joos G.* Die Jenaer Wiederholung des Michelsonversuchs. // *Ann. Phys.* - 1930. - 7, S.385-407.
16. *Ацюковский В.А.* Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. - М.: Энергоиздат, 1993. - 288 с.
17. *Essen L.* A new ether drift experiment // *Nature.* - 1955. - 175. - P.793-794.
18. *Cedarholm J.P., Bland G.F., Havens B.L., Townes C.H.* New experimental test of special relativity // *Phys. Rev. Letters.* - 1958. - 1, № 9. - P.342-349.
19. *Стампеу Д.С., Исаак Г.Р., Хан М.* An ether drift experiment based on the Mössbauer effect // *Phys. Letters.* - 1963. - 7. - P.243-243.
20. *Jaseja T.S., Javan A., Murray J., Townes C.H.* Test of special relativity or of the isotropy of space by use of infrared masers // *Phys. Rev.* - 1964. - 133a. - P.1221-1225.
21. *Azjukowski W.* Dynamik des Äthers // *Ideen des exakten Wissens.* - Stuttgart. - 1974. - № 2. - S.48-58.
22. *Ацюковский В.А.* Введение в эфиродинамику. Модельные представления структур вещества и полей на основе газоподобного эфира. - М., МОИП, секц. физ., 1980. - Деп. во ВИНТИ 12.06.80 г. № 2760-80 ДЭП.
23. *Michelson A.A., Gale H.G.* Assisted by *F. Pearson.* The effect of the earth's rotation on the velocity of light. Part II. // *The Astrophysical Journal.* - 1925. - LXI, № 5. - P.140-145.
24. *Столяров С.Н.* Саньяка опыт // *Физический энциклопедический словарь.* М.: Советская энциклопедия, 1965. - 4. - С.466.
25. *Никольский В.В., Никольская Т.И.* Электродинамика и распространение радиоволн. - М.: Наука, 1989. - 544 с.
26. *Кулемин Г.П., Разказовский В.Б.* Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью Земли под малыми углами. - Киев: Наук. думка, 1987. - 232 с.
27. А.с.1337829. СССР, МКИ⁴ G01R29/00. Способ измерения характеристик радиотрактов / *Ю.М. Галаев, Б.В. Жухов* // *Бюл. изв.* - 1987. - № 34. - С.183.
28. *Зверев В.А.* Модуляционный метод измерения дисперсии ультразвука // *Доклады АН СССР.* - 1953. - 91, № 4. - С.791-794.
29. *Калинин А.И., Черенкова Е.Л.* Распространение радиоволн и работа радиолиний. - М.: Связь, 1971. - 440 с.
30. *Вяльцева Э.Е.* Изменчивость коэффициента преломления атмосферы для УКВ в пограничном слое // *Метеорология и гидрология.* - 1972. - №2. - С.8-14.
31. *Вяльцева Э.Е.* Изменчивость показателя преломления воздуха для УКВ в 300-метровом слое зимой // *Тр. ИЭМ.* - 1974. - Вып.6(44). - С.99-105.
32. *Липатов Г.Н., Аксакова О.Я.* Некоторые особенности суточного хода и вертикального профиля показателя преломления радиоволн в нижнем 500 - метровом слое атмосферы // *Тр. ЦВГМО.* - 1977, вып.9. - С.71-78
33. *Абалакин В.К., Аксенов Е.П., Гребенников Е.А., и др.* Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. - М.: Наука, 1976. - 864 с.
34. *Румшиский Л.З.* Математическая обработка результатов эксперимента. - М.: Наука, 1971. - 192 с.