

ЗЕМЛЯ
ВРАЩАЕТСЯ
НЕРАВНОМЕРНО

AR DARBA SARKANĀ KAROGA ORDENI APBALVOTĀ PĒTERA
STUČKAS LATVIJAS VALSTS UNIVERSITĀTE

ЛАТВИЙСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. П. СТУЧКИ

ZINĀTNISKIE RAKSTI
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

S Ē J U M S

96

T O M



RĪGA 1967 RĪGA

ЛАТВИЙСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. П. СТУЧКИ
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ, ТОМ 96, ВЫПУСК 3, 1967.

К. А. Ш т е й н с

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ СЛУЖБОЙ ВРЕМЕНИ
АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ЛАТВИЙСКОГО
ГОСУНИВЕРСИТЕТА ИМ. П. СТУЧКИ

§ 1. П р о б л е м а т и к а

В настоящее время вращение Земли вокруг ее мгновенной оси вращения не используется как эталон времени, т.к. было установлено, что Земля вращается неравномерно, и соответствующие неравномерности не удается достаточно точно предвидеть. Несмотря на это, исследование вращения Земли является и в настоящее время весьма актуальной и практически важной задачей, т.к. жизнь человека тесно связана со сменой дня и ночи, и астрономические наблюдения за естественными и искусственными телами проводятся с поверхности вращающейся Земли. Неравномерности вращения Земли связаны с метеорологическими и геофизическими явлениями, поэтому изучение неравномерности вращения Земли будет способствовать дальнейшему развитию как метеорологии, так и геофизики.

Определение и хранение точного времени происходит в службах времени, которые иногда называются лабораториями времени. За многие столетия своего существования службы времени сильно изменялись, поскольку появлялись все новые задачи, которые необходимо было решить.

В настоящее время трудно точно определить все ва-

дачи, которые должны решаться службами времени. Перечислим только те, которые нам кажутся наиболее важными.

1. Службы времени по наблюдениям атомных и молекулярных стандартов времени определяют точное равномерное время ТА и хранят его на своих часах.

2. Службы времени определяют неравномерное время ТУ по астрономическим наблюдениям прохождений звезд, т.е. вращению Земли, и хранят его на своих часах.

3. Службы времени определяют т.н. эфемеридное время ТЕ, т.е. по астрономическим наблюдениям движения Луны.

4. Службы времени обеспечивают астрономические обсерватории, наблюдательные станции искусственных спутников Земли, геодезистов, авиацию, флот и многие другие организации точным временем, как правило, путем передачи радиосигналов точного времени.

5. Службы времени принимают радиосигналы точного времени и определяют поправки для "момента выхода сигнала из антенны передающей станции" и публикуют их в т.н. бюллетенях времени.

6. Службы времени ведут совместную работу по созданию международного бюллетеня точного времени.

7. Службы времени ведут научно-исследовательскую работу, изучая причины неравномерности вращения Земли, перемещение материков и движение земной коры, а также и другие вопросы, связанные с исследованием вращения Земли, эталонным временем и передачей радиосигналов точного времени.

8. Службы времени разрабатывают новые принципы и новую технику для решения задач служб времени. Так, разрабатываются новые виды эталонов частоты, новые, более точные, приборы и методы для наблюдений моментов прохождений звезд и совершенствуются приборы, на которых астрономы наблюдали многие столетия, уточняются каталоги звезд и т.д.

Ясно, что в одной отдельной службе времени могут и не решаться все перечисленные вопросы, а решаются

только некоторые из них. Службами времени иногда называют кабинеты, в которых имеется несколько точных часов, для которых регулярно определяются поправки по радиосигналами точного времени и ведутся соответствующие журналы поправок. Таких "служб времени" очень много, т.к. точное время нужно очень многим. Однако, в настоящее время техника хранения и распространения точного времени настолько усовершенствована, что обеспечение временем с точностью до $\pm 0,01$ секунды является простой задачей, и для этого вовсе не требуется специального заведения. Поэтому мы службами времени называем научные заведения, которые решают одну или несколько из перечисленных в пунктах 1 - 8 задач. Наиболее существенным признаком, что данное заведение является службой времени, следует считать его участие в работе международной Службы Времени. По нашему мнению это соответствует истории проблемы точного времени.

После того, как определены задачи служб времени, рассмотрим, какие из перечисленных в пунктах 1 - 8 проблем решаются в Службе времени Астрономической обсерватории Латвийского Государственного университета им. П.Стучки (АО ЛГУ).

Служба времени АО ЛГУ в основном решает три задачи.

а/ Определяет поправки для радиосигналов точного времени /пункты 5 и 2/ по астрономическим наблюдениям

б/ Исследует причины колебаний скорости вращения Земли с периодом один год /пункт 7/.

в/ Разрабатывает новые принципы и новую технику для решения задач служб времени /пункт 8/.

Решение упомянутых задач обеспечило участие Службы времени АО ЛГУ в работе Международной Службы времени. Остановимся более подробно на упомянутых исследованиях Службы времени АО ЛГУ.

§ 2. Точность астрономических наблюдений Службы времени АО ЛГУ им. П. Стучки

В 1923 году в Астрономической обсерватории Латвийского университета имелось несколько часов *Riefler*, *Knoblich* и *Dencker* для которых по радиосигналам точного времени определялись поправки. Таким было начало службы времени АО ЛГУ. Главной задачей этих часов являлась передача сигнала точного времени по Рижскому радио в начале каждого часа; точность сигнала была примерно ± 1 сек. Прошло много времени, и только в 1951 году начались первые астрономические наблюдения по определению точного времени. С 1951-1960 гг. астрономические наблюдения велись на пассажном инструменте *Askania Werke* № 83080, $D=70$ мм с контактным микрометром. Так как наблюдения производились на одном инструменте, причем на нем уже было проведено раньше много астрономических наблюдений, то пришлось перешлифовать цевья и произвести другой мелкий ремонт. Поэтому в 1954 году, а также частично в 1956 и 1957 годах, астрономические наблюдения не проводились. До международного геофизического года /1957-1958/ при нормальных условиях наблюдалось в течение года 60 ночей, причем, за ночь только одна поправка, т.е. примерно 10 езед. По данным Эталонного времени 1951 года качество астрономических наблюдений Службы времени ЛГУ им. П. Стучки характеризуют следующей величиной

$$\varepsilon = \pm 0,026 \text{ сек.}$$

где ε средняя квадратическая ошибка определения поправки часов, вычисленная по отклонениям определенных поправок от опорных после исключения годовой личностно-инструментальной ошибки. Такой результат считался в то время для Службы времени АО ЛГУ неожиданно хорошим, т.к. это значение было даже несколько меньше, чем среднее значение для всех служб времени Советского Союза, хотя аппаратура у Службы времени АО ЛГУ была сравнительно хуже, чем у остальных служб времени. Осо-

бочно плохими, по сравнению с другими службами времени, были астрономические часы, т.к. в качестве опорных часов использовались часы „Riefler“ которые находились в подвале, где сравнительно резко менялась температура. Показания часов „Riefler“ были настолько плохими, что они не помещались в „Эталонное Время“. В последующие годы качество астрономических наблюдений ухудшилось, т.к. не было соблюдено основное требование астрометрии о том, что нельзя вводить какие-либо изменения в систему наблюдений. Нарушения отчасти происходили потому, что использовался только один инструмент, детали которого были сильно изношены, и остальная аппаратура также была устаревшей. Начиная с 1957 года была получена новая аппаратура, которая по качеству не отставала от соответствующей аппаратуры других служб времени Советского Союза, за исключением пассажного инструмента, который был невысокого качества. Во время Международного Геофизического Года /МГГ/ астрономические наблюдения проводились более интенсивно. Число ночей, в которые проводились наблюдения в 1958 году, достигло 105, однако некоторые из них, по сути дела, не были пригодными для наблюдений, т.к. было пасмурно, и удавалось наблюдать даже меньше 10 звезд за ночь. В действительности, для определения поправок часов, пригодными были примерно 80 ночей, что и следует считать средним числом для г. Риги. В каждую ясную ночь наблюдалось в среднем 30 звезд. По данным Эталонного Времени в 1959 году качество наблюдений характеризуется величиной $\epsilon = \pm 0,020$ сек. при среднем значении для всех служб времени Советского Союза $\epsilon = \pm 0,019$. Некоторое улучшение качества астрономических наблюдений следует в первую очередь отнести к использованию более хороших астрономических часов. Однако, хорошая современная аппаратура является только необходимым, но не достаточным условием для качественных наблюдений. В этом лишний раз можно убедиться на примере наблюдений 1958 года Службы времени АО ЛГУ им. П. Стучки, которые по данным „Эталонного

Времени" невысокого качества. Дело в том, что происходила скачки в системе наблюдений [1]. Это случилось потому, что регистрация конца или начала импульса часов АЧЗ, длина которого была 0,048 сек, зависела от полярности источника питания /батареи/ тиратронного реле хроноскопа. На это не было обращено должного внимания, хотя оно и было бы не существенно, если не были бы нарушены условия МГГ, согласно которым никто не имел право менять какую-либо деталь в системе наблюдений.

К концу 1958 года Служба времени АО ЛГУ им. П. Стучки получила пассажный инструмент АПМ-10, $D = 100$ мм. Инструмент установлен в павильоне, который помещен над часовым подвалом, находящимся на территории Ботанического сада Университета. Подвал построен в виде круглого цилиндра диаметром 5 метров, который погружен в землю на глубину 14 метров. Над массивной стеною цилиндра, толщина которой примерно метр, поставлен столб пассажного инструмента. Столб настолько стабилен, что давление в несколько сот килограммов не дает заметного смещения пузырька уровня пассажного инструмента. Наблюдения на АПМ-10 проводились фотоэлектрическим путем и являются высокого качества. Согласно "Эталонному Времени" в 1964 году $\xi = \pm 0,015$, т.е. совпадает со средним значением для всех служб времени Советского Союза $\xi = \pm 0,015$. Таким образом, служба времени АО ЛГУ им. П. Стучки за время своего существования повысила точность своих астрономических наблюдений от $\xi = \pm 0,026$ до $\xi = \pm 0,015$.

§ 3. Определение вращения

Земли и изменений долгот

Вращение Земли определяется относительно системы координат, которая неподвижна относительно совокупности всех звезд. Угол поворота Земли относительно звезд можно рассматривать как звездное время. Определение поправок равномерно идущих часов с пассажным инструментом, установленным в меридиане, основывается

на равенстве прямого восхождения α звезды, которая проходит через меридиан, и местного звездного времени. Поправки равномерно идущих часов, полученные по вращению Земли, показывают неравномерность вращения Земли. В службах времени одновременно решаются несколько взаимно-связанных задач, из которых отметим: определение равномерного времени, определение неравномерностей вращения Земли, определение точных значений α , определение изменений долгот. Равномерное время определяется с помощью равномерно идущих часов следующим образом. Берутся несколько хороших кварцевых часов, и равномерность уточняется по атомному или молекулярному стандарту. Неравномерности во вращении Земли, точные значения α и изменения долгот определяются на основе астрономических наблюдений прохождений звезд. По сути дела, систематические ошибки в α можно определить в зависимости от значения α в течение одной ночи, т.к. за одну ночь можно наблюдать звезды во всем интервале значений α , т.е. от 0^h до 24^h , т.к. с астролябией прохождения звезд наблюдают на различных кругах высот. С другой стороны, можно считать, что за одну ночь Земля вращается равномерно, т.к. за год сезонные изменения в поправке часов достигают $\pm 0,03$ сек, а вековое удлинение суток равно $0,002$ сек в столетие. Сравнительно очень редко бывает резкие изменения скорости вращения Земли. Например, Данкон установил увеличение продолжительности суток порядка $0,7$ мсек в течение короткого отрезка времени в июле 1959 г. Для определения скачков должны быть известны значения α . Изменения долготы по одной станции найти принципиально невозможно. В определении изменения долгот должны участвовать, по крайней мере, две службы времени. Наблюдая на одних и тех же часах и используя один и тот же каталог, изменения в долготах определяются как изменения в разностях полученных моментов прохождений.

Определение точных значений α усложняется тем, что постоянные астрономических приборов меняются в

зависимости от температуры, ветра и других причин, которые в свою очередь систематически меняются в течение ночи и в течение года. Это влияние особенно вредно при наблюдениях на пассажном инструменте, установленном в меридиане, т.к. соответствующие влияния в зависимости от λ за данную ночь или в течение года содержат систематическую волну. Чтобы избежать этого, стремятся наблюдать так, чтобы все значения λ в течение года наблюдались при одинаковой температуре, яркости фона неба и т.д. Для этого составляют специальные программы наблюдений, т.е. применяют т.н. групповой метод. Считается, что, в среднем, для всех служб времени мира результаты свободны от влияний температуры, яркости фона неба и т.д. Дело усложняется тем, что среди всех служб времени имеются такие, которые имеют хорошие, а также и такие, которые имеют плохие результаты астрономических наблюдений. Чтобы получить более надежные результаты, планируется разместить службы времени по всему земному шару.

Служба времени может дать достаточно хорошие результаты по определению неравномерностей вращения Земли и определению изменения долгот, если она наблюдает, по крайней мере, на двух инструментах разных типов, т.к. температура и другие факторы по равному влияют на различные типы инструментов.

§ 4. О ш и б к и п р и е м а р а д и о - с и г н а л о в

Ошибки при определении поправок радиосигналов точного времени возникают во всех этапах, т.е. при распространении радиоволн, несущих радиосигналы, при приеме радиосигналов, при хранении времени, а также во время астрономических наблюдений звезд, которые необходимы для сравнения атомного времени с вращением Земли. Так как вращение Земли наблюдается в мгновенной движущейся системе координат, которая связана с местом наблюдений, а окончательный результат приво-

дится к основной системе координат, не зависящей от места наблюдений каждой службы времени, то неточности в определении мгновенных координат порождают погрешности в поправках радиосигналов точного времени. В этом параграфе познакомимся с ошибками, связанными с приемом радиосигналов точного времени.

1/ Ошибки приема радиосигналов точного времени

Это явление достаточно хорошо изучено. Имеются некоторые трудности при определении фронта нарастания сигнала на осциллооскопе, особенно, если сигнал несколько раз отразился от разных слоев ионосферы. В целом этот процесс проводится гораздо точнее, чем астрономические наблюдения. В настоящее время можно считать, что прием радиосигналов в службах времени практически не вносит никакие погрешности в определение поправок радиосигналов точного времени по астрономическим наблюдениям. Это утверждение полностью относится к Службе времени АО ЛГУ им. П.Стучки [2].

2/ Ошибки при хранении точного времени.

Вращение Земли определяется относительно атомного или молекулярного стандартов времени. Точность астрономических наблюдений в настоящее время не больше $\pm 0,001$ сек в течение года. Для кварцевых часов, ход которых контролируется атомными или молекулярными стандартами времени, такая точность далека от предельной. В создании стандартов времени участвуют несколько стран со своими лучшими стандартами. По созданию стандартов времени в последнее время в СССР достигнуты хорошие результаты. Служба времени АО ЛГУ не имеет ни атомных, ни молекулярных часов и пока в них не нуждается, т.к. прием радиосигналов точного времени обеспечивает ее эталонным временем с точностью до $\pm 0,0002$ сек. Кварцевые часы необходимы для того, чтобы связать радиосигналы точного времени с астрономическими наблюдениями. В настоящее время для этого используется непрерывный ход т.н. опорных часов за один месяц. Таким образом, в настоящее время службам времени при

определении поправок радиосигналов точного времени вполне достаточно иметь кварцевые часы, которые могут обеспечить точность $\pm 0,001$ секунды в течение месяца. Следует отметить, что часы в течение месяца могут идти даже неравномерно, но показания часов должны удовлетворять определенной функциональной зависимости, параметры которой можно определить. Изготовление кварцевых часов с выше указанной точностью не представляет принципиальных трудностей. Служба времени АО ЛГУ имеет кварцевые часы фирмы "Rohde und Schwarz". Эти часы вполне удовлетворяют выше упомянутым требованиям. Кроме того в службе времени АО ЛГУ имеются кварцевые часы оригинальной конструкции примерно с той же самой точностью. В службе времени АО ЛГУ занимаются конструированием и изготовлением кварцевых часов, что не отмечено среди задач служб времени. Тем не менее следует считать, что конструирование кварцевых часов приносит большую пользу Службе времени АО ЛГУ т.к. сотрудники Службы времени в связи с этой работой прекрасно ориентируются во временных соотношениях электроники.

§ 5. Ошибки ориентации инструмента

Определение поправок часов с пассажным инструментом, установленным в меридиане, основывается на равенстве прямого восхождения α звезды, которая проходит через меридиан, и местного звездного времени. При этом могут возникнуть следующие ошибки, связанные с определением системы, относительно которой определяется вращения Земли: 1/ ошибки в α , 2/ ошибки установления инструмента в меридиан, 3/ ошибки, вызванные микроклиматом, 4/ ошибки в координатах места наблюдения; колебания координат в связи с движением земной коры и изменением положения мгновенной оси вращения как в пространстве, так и в теле Земли.

1. Определение экваториальных координат α и δ глав-

ным образом происходит на меридианных кругах, и этой задачей занимаются астрометристы. Точность данного каталога со временем уменьшается, т.к. вследствие собственных движений звезд, которые плохо известны, изменяются прямые восхождения α и склонения δ . Еще недавно в службах времени составлением каталогов не занимались. В последнее время, когда точность наблюдений в службах времени значительно возрасла, имеющиеся каталоги для служб времени стали недостаточно точны и поэтому службы времени занялись составлением каталогов на основе своих собственных наблюдений.

Ошибки в α и δ разделяют на случайные и систематические $\Delta\alpha_s, \Delta\alpha_g, \Delta\delta_s, \Delta\delta_g$. Систематические ошибки возникают вследствие эффекта ветра, температурных явлений, эффекта яркости и т.д., т.е., главным образом, по тем же причинам, которые имеются при определении точного времени на пассажном инструменте. Особенно трудно исключить систематическую часть в α для тех звезд, которые проходят примерно через зенит ночью летом в больших широтах, т.к. летом наблюдать длинные серии звезд нельзя. Систематических ошибок в современных каталогах для звезд экваториальной зоны с точностью до тысячных долей секунды времени почти нет. При $\delta = 60^\circ$ прямые восхождения, которые играют первостепенную роль, для служб времени соответствующих широт, в том числе Службы времени АО ЛГУ им. П.Стучки, были определены Н.Н.Павловым достаточно точно только в последнее время. Систематические отклонения α от действительных значений при наблюдениях на пассажном инструменте, особенно при наблюдениях летом, порождают кажущиеся неравномерности во вращении Земли. Каталог FK4 имеет в α волну примерно при $\alpha = 16^h$. Точность наблюдений Службы времени АО ЛГУ им. П.Стучки из-за этой волны в 1964 и 1965 гг. значительно уменьшилась. Л.Ф.Розе [3] показал, что если бы использовался каталог Н.Н.Павлова, то поправки Службы времени АО ЛГУ им. П.Стучки за этот период можно было бы отнести к лучшим в мире, т.к. они отличались от эталонного времени

в среднем не больше, чем на $\pm 0,005$ сек. Это было невозможно своевременно осуществить, т.к. каталог Н.Н.Павлова был опубликован только в 1966 году. В случае наблюдений с астролибией систематические ошибки в α не играют роль при определении точного времени.

2. В службе времени АО ЛГУ им. П.Стучки в среднем пассажный инструмент в течение одной поправки поворачивается на $0,035$ сек. Это большая величина по сравнению с желаемой точностью поправок часов. Чтобы избежать эффекта вращения инструмента, поправку часов определяют по коротким сериям звезд, т.е. азимут определяется по каждой наблюдаемой экваториальной и по каждой наблюдаемой звезде с большим значением δ с учетом наблюдений примыкающих звезд. На основе большого материала нами было проверено, что значение поправки почти полностью не зависит от способа разбиения звезд по отдельным поправкам.

На то, что в инструменте непрерывно происходят изменения, указывает также та давно известная истина, что наклон инструмента и поправка в среднем зависят от того, с какого конца инструмента / O или W / начать наблюдать данную звезду.

3. Микроклимат или, вернее, окружающая среда инструмента искажает наблюдения. Луч света, проходя через атмосферу, меняет свое направление. Главным образом, меняется высота светила, что практически не влияет на поправку часов. В случае т.н. аномальной рефракции изображение звезды может переместиться по направлению параллели, однако эти перемещения сравнительно малы. Априори можно утверждать, что большие искажения получатся, если вблизи астрономического павильона имеются большие тела или впадины. Поэтому ставить наблюдательный павильон в городе вблизи больших зданий или в местностях, где неровная поверхность, или в болотистых местах, не рекомендуется. Следует отметить, что все наилучшие службы времени к сожалению, находятся в больших городах или на окраинах городов.

На инструмент механическим давлением действует ве-

тер. Наблюдения искажаются также температурным эффектом ветра. Данная служба времени может получить систематически искаженные результаты, если в данной местности ветер имеет сезонный характер. С этими эффектами можно успешно бороться, наблюдая на разных типах астрономических инструментов.

Упругое приливное действие меняет вертикальное направление. Приливное действие Луны вносит в поправку часов ошибку не больше нескольких тысячных долей секунды. Если наблюдения проводятся при разных фазах, то в среднем неточность небольшая. Лучшие службы времени в состоянии обнаружить приливное действие Луны при помощи астрономических наблюдений.

4. При оценке точности астрономических наблюдений в бюллетене служб времени Советского Союза "Эталонное Время", а также в международном бюллетене, издаваемом в Париже, из наблюдаемых поправок снимается т.н. лично инструментальная годовая ошибка. Таким образом, получается, что данная служба времени для того, чтобы ее наблюдения считались бы хорошими, должна добиваться, чтобы в поправки часов не входили ошибки, которые в течение года меняются. Такой способ оценки работ служб времени не способствует стремлению определить долготу соответствующей службы времени, т.е. не способствует выявлению всех инструментальных постоянных. В связи с этим надо с осторожностью отнестись к выводам об изменениях долгот на основе материалов служб времени. Изменения долгот порядка 0,001 сек в год известны очень приблизительно. Очевидно, вопрос об исследовании изменений долгот будет достаточно серьезно поставлен в ближайшее время, и этими исследованиями займутся службы времени. По наблюдениям службы широт известно, что полюс Земли меняет свое положение. Соответствующие изменения учитываются при определении точного времени по астрономическим наблюдениям.

§ 6. Ошибки пассажного инструмента

В идеальном случае оптическая ось трубы пассажного инструмента, части которого в таком случае считаются абсолютно твердыми телами, перпендикулярна к горизонтальной оси вращения. Если оптическая ось не является перпендикулярной к горизонтальной оси, то говорят, что имеется ошибка коллимации. В службах времени горизонтальная ось инструмента, как правило, перекладывается в лагерях, и ошибка коллимации исключается, однако в свою очередь это действие вносит некоторую ошибку. Горизонтальная ось оканчивается двумя цилиндрическими цапфами равного диаметра. Каждая из цапф оси располагается в лагерах. В идеальном случае лагерьные подставки прочно скреплены с основанием инструмента, установленного на неподвижном столбе. В фокальной плоскости объектива помещается сетка нитей, которые направлены в идеальном случае перпендикулярно к перемещению изображения звезды. В фотоэлектрических пассажных инструментах, в отличие от визуальных, вместо сетки нитей помещена зеркальная решетка, через щели которой луч звезды попадает на фотоумножитель или, отражаясь от зеркальных частей решетки, попадает на другой фотоумножитель. Чтобы оптическая труба находилась в меридиане, горизонтальную ось следует направить по линии $0 - \omega$. Горизонтально ось устанавливается при помощи уровня, а нужное направление в горизонтальной плоскости устанавливается при помощи микрометрического винта, следя за движением некоторой звезды. Невозможно достаточно точно установить оптическую ось в меридиальной плоскости, поэтому применяются классические формулы, /формула Майера и др./ при помощи которых можно исправить момент, который получен при наблюдениях так, чтобы получился момент прохождения звезды через меридиан. Вообще говоря, состояние пассажного инструмента всегда отличается от идеального, однако для случая, когда части инструмента являются абсолютно твердыми и неподвижными телами, разработана достаточно

точная теория, при помощи которой можно определить соответствующие поправки.

В действительности пассажный инструмент не является абсолютно твердым и неподвижным телом. Принципиально неизвестно, как вносить поправки, если пассажный инструмент является деформируемым телом в состоянии движения. В этом случае следует приложить все усилия, чтобы деформации были по возможности малые и мало влияли на момент регистрации прохождения звезды через меридиан.

Почти все ошибки пассажного инструмента, которые не удадается учесть по классическим формулам, являются результатом того, что его части не являются твердыми телами, а деформируются в зависимости от температуры и нагрузки. Так, у пассажного инструмента с ломаной трубой изгиб конца трубы, на которой надета сетка нитей или зеркальная решетка, зависит от зенитного расстояния оптической оси и меняется в сравнительно больших пределах. Если изгибы при положениях 0 и W одинаковы и упруги, то это явление не вносит ошибку в поправку часов. Однако изгибы при S и W могут быть различными. Поэтому следует обратить большое внимание на температурный режим пассажного инструмента, от которого во многом зависит деформация. Следует также осторожно обращаться с пассажным инструментом, чтобы не создать неупругих деформаций. Для создания подходящего распределения температуры и течений воздуха в павильоне ставят вентиль горы. Исследование деформаций некоторых частей пассажного инструмента для визуальных пассажных инструментов можно сравнительно легко осуществить при помощи коллиматоров и микр, а также и других приспособлений. Исследования деформаций фотоэлектрических пассажных инструментов не проводились, т.к. не созданы подходящие вспомогательные устройства. Чтобы увеличить точность астрономических наблюдений, применяются разные инструкции, указывающие определенный порядок операций. Например, считается, что вращения микрометрических винтов надо заканчивать в сторо-

ну вращения трубы и т.д.

Вторым большим очагом ошибок пассажного инструмента является аппаратура для регистрации моментов прохождений звезд через нити или щели зеркальной решетки. Эти вопросы тщательно исследовались в Службе времени АО ЛГУ и поэтому будут рассмотрены несколько дальше.

§ 7. Ошибки вычисления поправки

По этому вопросу отметим три момента. Во-первых, имеется мнение, что все редукции к некоторой средней системе координат безошибочны, согласно классическим формулам небесной механики. Это ошибочно. Следует отметить, что даже основные уравнения теории вращения Земли, на основе которых вносятся соответствующие редукции, приближенны. Высказывалась мысль, что неравномерность во вращении Земли с периодом год можно объяснить тем, что применяемая классическая теория неправильна. Уверенных оценок точности в теории вращения Земли не имеется. Астрономические постоянные, применяемые в теории вращения Земли, подлежат непрерывному уточнению, что также вносит некоторую погрешность в редукцию астрономических наблюдений.

Во-вторых, представления, сделанные разными бюллетенями времени, дают различные отклонения для данной службы времени от "действительного движения Земли". Это объясняется тем, что в различных бюллетенях применяется различная методика обработки данных наблюдений, основанная на различных системах и т.д.

В связи с этим не имеется однозначной оценки качества работы данной службы времени. Если некоторые службы времени не допускают ошибки, превышающие $\pm 0,005$ сек, то нет критерия, который мог бы решить вопрос о том, которая из этих служб времени имеет наиболее надежные результаты.

В третьих, следует отметить, что в вычислениях при

обработке данных наблюдений службами времени допускаются много ошибок, т.к. этот процесс очень трудоемкий, и только некоторые из его этапов проводятся в две руки. При контроле и повторной обработке, как правило, выявляется много ошибок. Чтобы избавиться от этого, очевидно, необходимо полностью автоматизировать весь процесс обработки наблюдений.

§ 8. О б у л у ч ш е н и я к а ч е с т в а н а б л ю д е н и й А О Л Г У

Одним из ведущих принципов каждой службы времени должен быть следующий: "В системе наблюдений не допускать никаких изменений, а если такие необходимы, то должно исследоваться как они влияют на поправку часов".

Отметим еще следующие принципы, которыми руководствуется Служба времени ЛГУ в своей работе.

1/ Борьба за лучшее качество работы состоит в повышении квалификации сотрудников обсерватории.

2/ Автоматизация работы Службы времени.

3/ Устанавливается минимум числа звезд, которые должны быть наблюдаемы за одну ночь, и предел для отклонения момента прохождения от среднего по внутренней сходимости. Если наблюдение какой-либо звезды дает отклонение, превышающее этот предел, то оно считается грубо ошибочным.

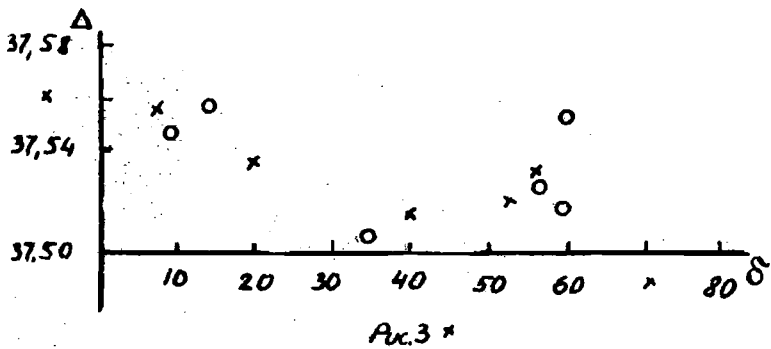
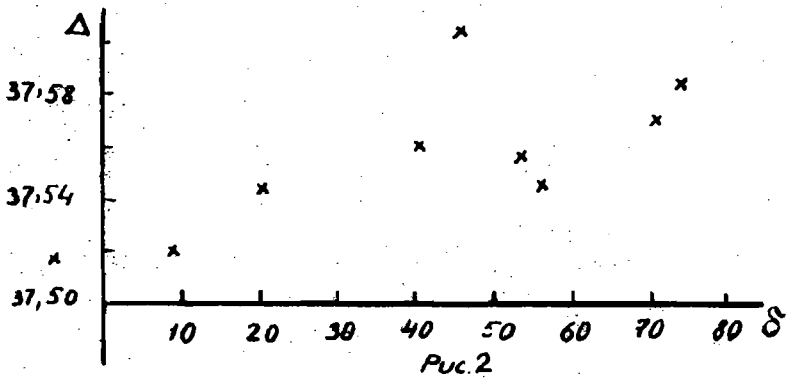
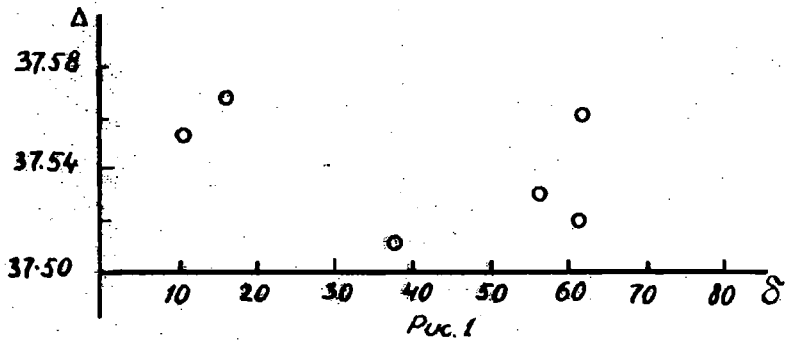
Службе времени АО ЛГУ им. П. Стучки, как любой службе времени, пришлось непрерывно решать так или иначе вопросы, возникающие при введении в эксплуатацию новых приборов. Надо было решать также вопросы, которые возникли при использовании новейших достижений других Служб времени, а также при реализации своих идей. За период с 1951 г. по 1960 год приняты следующие попытки улучшения качества наблюдений: 1/ перешлифовка цапф, 2/ замена латунных лагеров на деревянные, 3/ проведены эксперименты с отгрузочным механизмом, и изготовлено специальное устройство для регулирования

ния давления рычага zenithного расстояния горизонтальной оси. 4/ Перестроены все реле на режим "отрыв" [4]. Однако все упомянутые выше меры не привели к заметным улучшениям качества астрономических наблюдений. Введение в эксплуатацию печатающего хронографа 21 П [5] дало улучшение. В 1951 - 1960 гг. проводились также теоретические исследования по обработке данных наблюдений. Так, в работе К.Штейна [6] был рассмотрен вопрос о выборе звезд для определения поправок часов; в работе К.Штейна и Л.Ф.Розе [7] рассматривался вопрос о том, каким образом для различных способов определения поправок часов вычислить ошибки, характеризующие точность полученной поправки.

В 1960-1963 гг. вводился в эксплуатацию фотоэлектрический пассажный инструмент АПМ-10. Старший инженер АО ЛГУ К.А.Цирулис [8] создал фотоэлектрическую установку регистрации моментов прохождения звезд на АПМ-10, а К.А.Штейнс и Л.Ф.Розе разработали для нее теорию [9]. Пассажный инструмент АПМ-10 исследовался всесторонне. Деформации инструмента исследовались при помощи паутинного креста и зеркала, установленного на объективе. От зеркала отражались лучи света, идущие от креста. Правда, К.Штейнсу и Л.Ф.Розе, которые исследовали эти вопросы, не удалось добиться необходимой точности $\pm 0,001$ секунды, а только $\pm 0,01$. Им установлено, что имеют место только упругие деформации, влияние которых на поправку часов исключается при перекладке горизонтальной оси инструмента. Чтобы избежать скачкообразного смещения, на конец горизонтальной оси пассажного инструмента был одет стальной цилиндр, к которому прикреплен фотоголовка. Зеркальная решетка к горизонтальной оси прикреплена отдельно. В последнее время К.Штейнс и И.Рунгайне продолжали исследования упругих свойств частей пассажного инструмента, а также инструментальных ошибок. Они исходили из следующих соображений. Если невозможно определить наиболее существенные причины ошибок поправок часов, то, по крайней мере, следует выявить, какой группа факторов бо-

лее существенна. Внутренняя сходимость моментов регистрации прохождения одной звезды зависит, главным образом, от качества работы фотоэлектрической установки и качества изображения, но не зависит от α , изгиба горизонтальной оси пассажного инструмента, от устойчивости работы переключочного приспособления и других факторов. Рассматривая внутреннюю сходимость моментов регистрации, можно легко выделить ночи, когда сходимость была очень хорошей, а когда плохой. Для хороших и для плохих условий можно сравнить внутреннюю сходимость поправок за одну ночь, а также внутреннюю сходимость поправок в некотором более длинном интервале времени и сделать соответствующие выводы. Конкретно была оценена точность определения моментов регистрации для наблюдений 18 поправок, проведенных Э.А.Капушей за 1965 год. Оказалось, что средняя квадратическая ошибка, определенная по внутренней сходимости для хороших условий наблюдения одной пары контактов, была ± 5 мсек, а для плохих ± 10 мсек. Все 18 поправок были перевычислены методом наименьших квадратов с весами, которые брались обратно пропорционально средним квадратическим ошибкам. Оказалось, что при таком способе вычислений поправки увеличиваются, и притом тем больше, чем хуже условия наблюдения, что объясняется ложными контактами, которые возникают при плохих условиях наблюдений [10].

К.Штейнс и И.Рунгайне занимались также исследованиями деформаций пассажного инструмента. Конкретно по моментам прохождений через решетку определялось удвоенное расстояние между средней нитью и безколимационной линией. На рисунке 1 показаны для поправки 1965г. Ш 26/27 для 7 звезд расстояния между средней нитью и безколимационной линией Δ в зависимости от δ . На рисунке 2 показаны Δ для случая, когда наблюдения начаты с противоположного /по сравнению с рис.1/ положения горизонтальной оси. Чтобы деформации не влияли на поправку часов, необходимо, чтобы точки на рисунке 1 являлись антисимметрическими точками на рисун-



ке 2. Чтобы убедиться насколько антисимметричность имеет место, на рисунке 3 показаны точки рисунка 1, а точки рисунка 2 показаны в зеркальном отражении. Из рисунка 3 следует, что влияние деформации на поправку не больше нескольких тысячных долей секунды. Из рассмотрения многих подобных рисунков можно было заключить, что инструмент и зеркальная решетка достаточно стабильны, и изменения в их положении никак практически не влияют на наклон щелей к траектории перемещения звезды.

В различных Службах времени методики наблюдений несколько отличаются. Нередко различные ученые дают прямо противоположные рекомендации. Так, например, некоторые считают, что части пассажного инструмента должны быть покрыты асбестом и жемчугом, чтобы температура менялась плавно, другие же считают иволяцию нежелательной. По результатам астрономических наблюдений почти невозможно установить, которая из упомянутых рекомендаций в каждом конкретном случае лучше, т.к. другие факторы часто вносят гораздо большие ошибки в поправку часов. В Службе времени АО ЛГУ наибольшие ошибки в поправках часов в 1960-1965 гг. вносил каталог FK4. В связи с этим анализ других факторов, влияющих на поправки часов, не давал положительных результатов. Только после того, как по каталогу В.Э. Брандта было установлено, что кажущиеся изменения в системе наблюдений вносятся каталогом FK4, и все наблюдения были приведены к каталогу Н.Н.Павлова, стал, по сути дела, возможным плодотворный анализ других факторов, влияющих на поправки. В.Э.Брандт и Н.Н.Павлов любезно представили свои каталоги раньше, чем они были опубликованы, и тем самым очень помогли в работе Службе времени АО ЛГУ.

Кроме дискуссионных рекомендаций имеются также бесспорные. Так, например, никто не сомневается, что отсчет уровня должен проводиться по возможности точнее, а цена деления уровня должна быть хорошо известна. Можно указать еще на много аналогичных бесспорных

требований. Методы определения цены деления уровня подробно разработаны и общеизвестны. В АО ЛГУ для этой цели успешно применялся точный оптиметр, который устанавливался на фундаменте пассажного инструмента. Наклон уровня менялся винтом, предназначенным для изменения наклона пассажного инструмента. Преимущества такой методики состоит в том, что измерения происходят при тех же самых условиях, какие имеются при наблюдениях, и они легко повторимы. Отсчет уровня в АО ЛГУ им. П. Стучки делается через бинокль. Чтобы добиться необходимого фокусного расстояния, над объективами бинокля помещались очковые стекла.

§ 9. Земля вращается неравномерно

К 1930 году определение моментов прохождений звезд уже могло производиться с точностью лучше 0,02 сек, и стало возможным выявление сезонной вариации суток [11]. Первое убедительное сообщение о сезонных вариациях суток поступило от Н. Стойко из международного бюро времени в Париже. Он нашел, что продолжительность суток в январе превосходит их продолжительность в июле на 2 мсек. С 1950 года определения с использованием кварцевых часов прекрасно подтверждали выдающееся открытие Н. Стойко, сделанное с маятниковыми часами. Величина амплитуды вариаций суток $\pm 0,5$ мсек сейчас общепринята. Сейчас для амплитуды полугодового члена повсюду принята величина $1/3$ мсек. Расчеты Андерсона, Стойко, Минца и Манка указывают на то, что полугодовой член обусловлен, по крайней мере частично, приливами в теле Земли. Предполагается существование еще более короткопериодических членов вариации суток, коррелируемых с лунными месячными и полумесячными приливами; вычисленные амплитуды этих вариаций того же порядка как годовые и полугодовые вариации. После 1953 г. в Блэндингтоне и Ричмонде на 1500 ночей выявились месячный и полумесячный члены с предсказанными амплитудой

и фазой. Годичные вариации вращения Земли обусловлены метеорологическими явлениями. По-видимому полугодовые изменения продолжительности суток вызываются атмосферой и приливными возмущениями тела Земли. Основными же причинами месячных и полумесячных вариаций продолжительности суток являются приливные эффекты. Существуют небольшие добавочные выступы в районе экватора, и момент инерции Земли несколько увеличен по сравнению с тем, который был бы при отсутствии Солнца. Основными эффектами здесь будут вариации приращения момента инерции, обусловленные а/ изменениями расстояния от Земли до Солнца и б/ изменениями склонения Солнца из-за наклона эклиптики к экватору. Первая причина вызывает появление небольшого годового члена, вторая - полугодового с максимумами момента инерции /и, следовательно, продолжительности суток/ во время весеннего и осеннего равнодействий и минимумами во время летнего и зимнего солнцестояний. Аналогичные эффекты вызываются движением Луны. Приливные искажения, которые меняют продолжительность суток, и искажения фигуры вследствие вращения охватывают Землю в целом, включая океаны. Наблюдаемый полугодовой член несколько больше, а годовой значительно больше соответствующих вычисленных членов. Можно думать, что этот результат объясняется влиянием метеорологических факторов. Наблюдаемый полумесячный член примерно согласуется с вычисленной величиной, наблюдаемый же месячный член оказывается больше вычисленного. Согласие фазы вполне приемлемое.

Первая попытка оценить сезонные вариации суток была предпринята ван ден Дунгеном, Коксом и ван Михеюм. Совершенно естественно, что они искали необходимое объяснение в меняющемся распределении воздушных масс. Вычисления были сделаны лишь для северного полушария. Манк и Миллер показали, что амплитуда уменьшится четыре раза, если принять во внимание оба полушария; подвижность океанов очень сильно уменьшить эффект. Влияние на наблюдаемые вариации суток здесь весьма же -

значительно. Был собран материал по всей Земле относительно распределения водяных паров по сезонам. Влияние водяных ресурсов объясняет около 10% эффекта воздушных масс. Снег и ледники Антарктики и Гренландии играют так же небольшую роль. Растительность является еще одним источником меняющегося характера. Можно считать, что масса деревьев, кустарников и трав подвержена периодическим изменениям с максимумом летом и минимумом зимой. Нагрузка на поверхность от растительности, определенная по всей поверхности Земли, так же не влияет на общую оценку. После появления заметки Стара о том, что сезонные вариации момента количества движения атмосферы должны вызывать "практически незаметные нерегулярности скорости вращения Земли", Манк и Миллер вычислили компоненту относительного момента количества движения и нашли, что продолжительность суток в январе должна превосходить их продолжительность в июле на 1,8 мсек. Нерегулярности такой величины и фазы были действительно обнаружены Стойко, Финчем и др. Большая часть момента количества движения атмосферы, как было выяснено, может быть объяснена струйными течениями и западными ветрами, которые были уверенно выявлены лишь в последние два десятилетия. Повторные расчеты Минца и Манка с включением новых данных по южному полушарию и распространением вычислений в северном полушарии на все долготы привели к уменьшению разности январь-июль примерно до 0,6 мсек. На основе новых расчетов было выяснено, что только от 1/3 до 1/2 наблюдаемых вариаций может быть приписано влиянию ветров. Аналогичные результаты были получены советскими учеными Н.Н. Парийским и О.С. Берляндом. Распространения вычислений с двух на четыре сезона не привело к существенным изменениям числовых результатов. Однако новые оценки, основанные на астрономических наблюдениях, оказались существенно меньшими, частично из-за ошибок каталога FK3. С уменьшением втрое атмосферного и астрономического членов / каждого по своей причине / в настоящее время вывод оказывается

таким, что годовые изменения продолжительности суток обусловлены в основном влияниями ветров. Наблюдениям доступны были уровни до 100 мб, т.е. в вычисления вошли 90% массы атмосферы. Имеется расхождение между вычисленной годовой амплитудой $0,37 \cdot 10^{-8}$ и наблюдаемой годовой амплитудой $0,58 \cdot 10^{-8}$ даже после учета земных приливов и других эффектов. Существует несколько возможностей для объяснения несогласия. Наблюдения экваториальных ветров не вполне удовлетворительны. Более того, ветры со скоростью 100 м/сек наблюдаются на уровне 25 мб, свидетельствуя о том, что значительная доля момента количества движения атмосферы может быть отнесена за счет стратосферных ветров, что не было принято во внимание Минцем и Манком. Таким образом, проблема годовых вариаций продолжительности суток окончательно еще не решена. В отношении полугодового члена найдено, что примерно на половину он может быть объяснен приливами в теле Земли. Было замечено, что сезонные перемены всякого рода могут происходить столь резко, что можно ожидать значительного влияния их на полугодовой член и другие короткопериодические гармоники.

На практике принято рассматривать отдельно напряжения, возникающие при действии ветров на большие горные цепи и "поверхность трение" ветра о мелкие местные предметы /определяются по данным о поверхностных ветрах из статистических соображений/. Величины напряжения от ветров на поверхности Земли в 100 раз превосходят минимальные величины, требуемые для объяснения наблюдаемых вариаций продолжительности суток. Это означает, что должна иметь место взаимная компенсация примерно равных западных и восточных напряжений

Электромагнитное сцепление между ядром и мантией Земли зависит от идеальной электропроводности мантии. Ядро может неполностью принимать участие в годовых вариациях. Момент инерции ядра составляет 10-12 % момента инерции Земли, поэтому вариации продолжительности суток увеличились бы в отношении 1,1 если толь-

ко ядро вообще принимает в этом участие. Это проблема остается открытой и за влияние ядра никакие поправки ещё не вносятся.

Резкие метеорологические аномалии, существующие в течение сезона, могут быть причиной опутимых вариаций продолжительности суток. Для определения месячных аномалий точность определения звездного времени должна быть повышена на порядок.

§ 10. Об исследованиях вращения Земли в А О Л Г У

Имеются три вида изменений скорости вращения Земли: вековое замедление, неправильные флуктуации и периодические колебания. Сезонные изменения впервые весьма надежно определил Н. Стойко. Данкон установил увеличение продолжительности суток порядка 0,7 мсек в течение короткого отрезка времени, в июле 1959 г. Н. Н. Павлов и А. П. Челомбитько установили наличие короткопериодических флуктуаций скорости вращения Земли вокруг оси. Сотрудники АО ЛГУ им. П. Стучки К. Штейнс и Э. Каупуша [12] рассмотрели исследования Н. Н. Павлова и установили, что флуктуациям соответствуют изменения поправок часов в несколько десятков тысячных долей секунды в сутки. Э. Каупуша [13] пыталась объяснить эти изменения влиянием циркуляции атмосферы на скорость вращения Земли. В последнее время сотрудники АО ЛГУ им. П. Стучки занимаются исследованием влияния части момента количества движения на вращение Земли.

§ 11. Об инструментах конструированных А О Л Г У

Мы неоднократно указывали на необходимость иметь данной службе времени, по крайней мере, два астрономических инструмента для определения поправок часов. В настоящее время в АО ЛГУ наблюдения ведутся

только на одном пассажном инструменте. Приобретение и введение в эксплуатацию нового инструмента является большим событием в жизни данной службы времени и требует длительного времени на тщательное исследование. Научный сотрудник АО ЛГУ М.К.Абеле [14] разработал проект фотоэлектрической отражательной зенитной трубы. Объектив инструмента однолинзовый. Изготовление остальных частей инструмента также не требует больших технических возможностей. Учитывая это, инструмент изготавливается силами АО ЛГУ. Правда, изготовление некоторых частей инструмента, например, зеркальной решетки больших размеров, требуют уникальных работ, но пока все работы ведутся успешно, и, очевидно, в 1937 г. инструмент будет установлен. О точности работы инструмента не стоит преждевременно говорить, т.к., по сути дела, он является оригинальным. Следует отметить, что фотоэлектрическая отражательная зенитная труба требует очень стабильного фундамента, и, следовательно, она особенно удачно может быть установлена в Службе времени АО ЛГУ им. П.Стучки.

Сотрудники Службы времени АО ЛГУ К.Штейнс, К.Цирулис и Э.Каупуша [15], [16] сконструировали искусственную звезду для исследования пассажных инструментов. Она не является оригинальной, но искусственные звезды до сих пор не применялись для исследований фотоэлектрических пассажных инструментов. Подробное исследование пассажных инструментов с помощью искусственных звезд требует от них ряда определенных свойств и также применения ряда вспомогательных устройств. Успех применения построенной искусственной звезды для исследования фотоэлектрических пассажных инструментов зависит от того, насколько технически хорошо будут построены сами искусственные звезды и вспомогательные устройства.

Л и т е р а т у р а

1. Я. М. К л е т н и е к с , Уч. зап. Латв. госунив. том 38, 41, 1960.
2. Ю. А. С к р и н и К. А. Ц и р у л и с , Уч. зап. Латв. госунив., том 38, 20, 1960.
3. Л. Ф. Р о з е , наст. сб. стр. 38.
4. К. А. Ш т е й н с , Уч. зап. Латв. Госунив., том 38, 107, 1960.
5. Ю. А. С к р и н и К. А. Ш т е й н с , Уч. зап. Латв. госунив., том 38, 29, 1960.
6. К. А. Ш т е й н с , Астр. журн., том 30, вып. 5 стр. 1953.
7. К. А. Ш т е й н с и Л. Ф. Р о з е , Уч. зап. Латв. госунив., том 38, 5, 1960.
8. К. А. Ц и р у л и с , Уч. зап. Латв. госунив. том 68, 5, 1964.
9. К. А. Ш т е й н с и Л. Ф. Р о з е , Уч. зап. Латв. госунив., том 68, 7, 1964.
10. К. А. Ш т е й н с и И. К. Р у н г а й н е , наст. сб. стр. 131.
11. У. М а н к , Г. М а к д о н а л ь д , Вращение Земли, Москва 1964.
12. К. А. Ш т е й н с и Э. Я. К а у п у ш а , Астрономический циркуляр АН СССР, № 281, 1964.
13. Э. Я. К а у п у ш а , Уч. зап. Латв. госунив. том 68, 81, 1964.
14. М. К. А б е л е , Уч. зап. Латв. госунив. том 68, 29, 1964.
15. К. А. Ш т е й н с , К. А. Ц и р у л и с и Э. Я. К а у п у ш а , наст. сб. стр. 49.
16. К. А. Ш т е й н с и Э. Я. К а у п у ш а , наст. сб. стр. 79.

K o p s a v i l k u m s

K. Š t e i n s

PAR ZEMES ROTACIJAS NEVIENMĒRĪBAS PĒTĪJUMIEM
P.STUČKAS LVU ASTRONOMISKA OBSERVATORIJA

Rakstā populārā veidā tiek formulēti laika dienesta uzdevumi un sīkāk apskatīti pētījumi, kas veikti LVU AO. Parādīts, ka laikā no 1952 - 1966 g. astronomisko novērojumu precizitāte augusi divkārtīgi. Analizētas precīzā laika signālu kļūdas, precīzo pulksteņu kļūdas, katalogu kļūdas un pasāžinstrumentu kļūdas un to cēloņi. Pastāstīts par Zemes kustības nevienmērību noteikšanu un cēloņiem.

S u m m a r y

K. Š t e i n s

ABOUT INVESTIGATIONS OF IRREGULARITIES OF THE
EARTH'S ROTATION AT THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY
OF P.STUČKA LATVIAN STATE UNIVERSITY

Problems of Time Service are formulated and a detailed description in a popular way is given about the investigations carried out at the Observatory of Latvian State University. It is shown that the accuracy of astronomical observations has been increased twice during the period of 1952 to 1966. The errors of time signals, clocks, catalogues and transit instruments and causes of these errors have been analysed. Determination of irregularities of the Earth's rotation and its possible causes are described.

К. А. Ш т е й н с и Э. Я. Кау п у ш а

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ АТМОСФЕРЫ
О ЗЕМЛЮ

Скорость вращения Земли и общая циркуляция атмосферы имеют изменения сезонного характера, поэтому естественно сопоставить их.

Можно пользоваться двумя эквивалентными методами :

- 1/ методом момента количества движения и
- 2/ методом момента сил.

Пользуясь методом момента количества движения считают момент количества движения системы "Земля+ атмосфера" постоянным относительно оси вращения при предположении, что Земля вращается как твердое тело. Тогда по изменениям момента количества движения атмосферы от сезона к сезону можно определить изменения момента количества движения Земли, соответствующие изменениям скорости вращения Земли и сопоставить их с астрономическими наблюдениями. Вычисленные методом момента количества движения изменения продолжительности суток удовлетворительно согласуются с теми же изменениями, которые получаются из астрономических определений времени. Наилучший результат по этому методу получили Н. Н. Парицкий и О. С. Берлянд [1], [2].

Но метод момента количества движения ничего не говорит о механизме передачи момента количества движения атмосферы Земле и обратно. Поэтому пользуясь этим методом, неубедительными являются такие рассуждения, что ранняя зима или поздняя весна на территории Евразии являются причинами тех или иных изменений в про-

должительности суток.

Во втором методе, т.е. методе момента сил, перенос момента количества движения определяется по касательным напряжениям. На практике обычно рассматривают отдельно напряжение, возникающее при действии ветров на большие горные хребты, и отдельно напряжение от трения ветра о поверхность Земли. Последнее определяется при помощи полуэмпирической теории Прандтля, примененной в пограничному подслою атмосферы. При некоторых упрощениях получается, что турбулентное напряжение пропорционально квадрату скорости ветра в пограничном подслое атмосферы и некоторому коэффициенту. Первые попытки применения метода момента сил были сделаны ван ден Дунгеном, Коксом и ван Михемом. Они принимали значение коэффициента для всего Земного шара равным 0,003. В дальнейшем некоторые другие исследователи пользовались для суши и водной поверхности различными коэффициентами. Метод себя не оправдал, так как получились слишком грубые результаты. Манк и Макдональд в книге "Вращение Земли" [3] оценивают этот метод словами: "Чтобы выявить 25%-ную вариацию/годовых вариаций продолжительности суток/, восточные и западные напряжения должны быть известны каждые с точностью 1/100. При этих обстоятельствах метод момента количества движения более точен, чем метод момента сил, и поэтому более подходит для определения годовых вариаций продолжительности суток".

Однако, считая вопрос о механизме передачи момента количества движения чрезвычайно важным, мы пытались улучшить метод момента сил. Мы не просто вычисляли передачу момента количества движения, а соответствующий метод модифицировали. Точность нашего метода определялась оценением ошибки результата. Для улучшения результатов мы рассмотрели более высокую контрольную поверхность порядка нескольких сотен метров.

Чтобы узнать, каким образом равновидные области земной поверхности — вода, более или менее ровные участки суши и леса влияют на образование напряжения турбу —

лентного трения над этой поверхностью, мы пытались объяснить возможность определения из имеющегося у нас в распоряжении материала о скоростях ветра, отдельно коэффициенты турбулентного трения над океанами, ровной поверхностью суши и лесами. Знание более точного значения коэффициента трения над подстилающей поверхностью равного рода, позволили бы точнее оценивать результаты воздействия аномальных метеорологических явлений на равные участки поверхности Земного шара.

Вычисления коэффициентов турбулентного трения над водной поверхностью - k_1 , ровной поверхностью суши - k_2 и лесами - k_3 велись по формуле, выражающей закон моментов

$$k_1 \int_{S_1} u \sqrt{u^2 + v^2} \rho R \cos \varphi dS + k_2 \int_{S_2} u \sqrt{u^2 + v^2} \rho R \cos \varphi dS +$$

$$+ k_3 \int_{S_3} u \sqrt{u^2 + v^2} \rho R \cos \varphi dS = \frac{\partial \mathcal{L}_a}{\partial t} - \int_S p R \cos \varphi d\alpha,$$

где u - проекция скорости ветра на параллель, v - проекция скорости ветра на меридиан, ρ - плотность воздуха, R - расстояние элемента поверхности Земли до ее центра, φ - геоцентрическая широта, dS - элемент поверхности, $d\alpha$ - проекция элемента на меридиональную плоскость, p - давление на поверхности Земли, \mathcal{L}_a - момент количества движения атмосферы.

Данные для скорости ветра взяты из мировых карт ветров для января, апреля, июля и октября на высоте нескольких сотен метров [4].

Результаты вычислений левой части интегралов предыдущей формулы в единицах гм сек^{-1} следующие:

	\bar{I}	\bar{II}	\bar{III}
январь.	$29 \pm 3,8 \cdot 10^{30}$	$-12 \pm 1,2 \cdot 10^{30}$	$-6 \pm 0,6$
апр.	$-25 \pm 1,1$	$-27 \pm 1,1$	$-21 \pm 0,7$
июль.	$125 \pm 4,2$	$-15 \pm 1,4$	$-8 \pm 0,7$
окт.	$-14 \pm 4,0$	$5 \pm 1,2$	$-1 \pm 0,6$

Для определения неизвестных k_1 , k_2 , k_3 необходимо решить систему 4 уравнений с 3 неизвестными. Решая си-

стему методом наименьших квадратов, получаем следующую систему нормальных уравнений :

$$16\ 062\ k_1 - 1543\ k_2 - 623\ k_3 = C_1$$

$$-1543\ k_1 - 1123\ k_2 + 754\ k_3 = C_2$$

$$-623\ k_1 - 784\ k_2 + 542\ k_3 = C_3$$

Правые части уравнений получаются неточными потому, что надо учитывать влияние горных хребтов, и поэтому мы их не вычисляли; для нашего дальнейшего анализа они нам не понадобятся.

Строки определителя можно интерпретировать как соответствующие координаты некоторых векторов.

В таком случае определитель пропорционален объему призмы, построенному на этих векторах. Наибольший объем призмы будет иметь в том случае, когда все векторы расположены под углами 90 друг к другу. О возможности определения всех 3-х неизвестных будем судить по величинам углов, под которыми располагаются векторы \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} в данном случае. Чем ближе к одной плоскости будут располагаться все 3 вектора, тем хуже будут определяться неизвестные. В данном случае

$$\begin{aligned} \chi(\vec{a}, \vec{b}) &= 145^\circ, & |\vec{a}| &= 16\ 148 \cdot 10^{30} \\ \chi(\vec{b}, \vec{c}) &= 15^\circ, & |\vec{b}| &= 2\ 052 \cdot 10^{30} \\ \chi(\vec{a}, \vec{c}) &= 150^\circ, & |\vec{c}| &= 1\ 118 \cdot 10^{30} \\ \chi(\vec{b}, \vec{a}\chi\vec{c}) &= 1^\circ. \end{aligned}$$

Очевидно, что все три вектора находятся почти в одной плоскости, а это значит, что уверено определить 3 неизвестных из нашей системы уравнений невозможно.

Этот результат свидетельствует о том, что не существует различных коэффициентов турбулентного напряжения трения для ровной поверхности суши и местности, покрытой лесами на той высоте, для которой взяты соответствующие скорости ветра. Не разделяя ровную поверхность суши и леса, пользуясь нашим методом получаем два век-

тора. В этом случае угол между обоими векторами

$$\angle(\vec{a}, \vec{b}) = 132^\circ, \quad |\vec{a}| = 2011 \cdot 10^{30}, \quad |\vec{b}| = 475 \cdot 10^{30}$$

В этом случае оба неизвестные определяются уверенно. Это значит, что над водными поверхностями и над сушей необходимо пользоваться различными коэффициентами турбулентного трения. Что касается численных значений коэффициентов k_i , то их определить невозможно из-за отсутствия точных значений правых частей системы уравнений.

В основе изложенных исследований лежала полуэмпирическая теория турбулентного напряжения Прандтля. В отличие от других исследователей мы взяли контрольную поверхность на большей высоте, но в таком случае применение полуэмпирической теории турбулентного напряжения Прандтля становится сомнительным.

Л и т е р а т у р а

1. Н. Н. Парицкий и О. С. Берлянд, Труды Геофизического инст. АН СССР №19/146/103, 1953
2. Н. Н. Парицкий, Труды Геофизического института АН СССР № 19 /146/ 53, 1953.
3. У. Манк, Г. Макдональд, Вращение Земли изд. "Мир", 179, 1964.
4. H. Neave, M.Sc. and P. M. Stephenson M. Sc., Geophysical memoirs N 103, 1960.

К о р з а в и л к у м с

K. Šteins un E. Kaupža

P. R. ATMOSPĒRAS BERZES KOEFICIENTU PRET ZEMI

IZVĒLI

Pētīta iespēja noteikt atmosfēras berzes koeficientus pret sauszemi, mežiem un okeāniem. Pētījumos izmantoti dati par vēja ātrumiem piezemes slānī. Parādās, ka kustības sauszuma momenta pārdevi var aprakstīt ar atmosfēras berzes koeficientiem tikai pret sauszemi un okeāniem.

Summary

K. Šteins and E. Kaupuša

ABOUT CHOISE OF COEFFICIENTS OF FRICTION BETWEEN
ATMOSPHERIC AIR AND EARTH

Possibility to estimate the coefficients of friction between Earth's atmosphere and land, woods and oceans has been investigated. Data of wind velocities at Earth surface are used. It is shown, that the exchange of angular momentum may be described by means of friction coefficient between atmospheric air and land or oceans.

ЛАТВИЙСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. П. СТУЧКИ
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ, ТОМ 96, ВЫПУСК 3, 1967.

Л. Ф. Р о в е

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ 1964 И 1965 ГОДОВ
СЛУЖБЫ ВРЕМЕНИ ЛАТВИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Пассажный инструмент АПМ-10 № 580003 Службы времени Латвийского Государственного университета с фотоэлектрической установкой, разработанной К.А. Цирулисом [1], был установлен в павильоне наблюдательной базы обсерватории в 1963 году. Теоретическим основам работы этой своеобразной установки было посвящено специальное исследование [2].

В 1963 году были выполнены первые фотоэлектрические наблюдения по определению времени. Поскольку эти наблюдения малочисленны и несли еще экспериментальный характер, мы не сочли возможным подвергнуть их анализу совместно с результатами наблюдений последующих годов. В 1964 году было 82 ночи определения времени, в течение которых наблюдалось 2362 звездных прохождений. В 1965 году соответственно - 65 ночей и 1763 прохождения.

В 1964 году пассажный инструмент был покрыт особой термоизоляцией, т.е. его основные части - основание, труба, фотонасадка, искатель и, частично, горизонтальная ось - были обшиты трехслойным покрытием, состоящим из асбеста, белой жести и поролона. Применялась вытяжная вентиляция. Четыре вентилятора, расположенные симметрично вокруг пассажного инструмента, высасывали окружающий воздух и выводили по трубам вне павильона.

К концу 1964 года эта термоизоляция была снята с инструмента. Вытяжная вентиляция была заменена другой,

при которой пассажный инструмент с южной стороны обдувался посредством настольного вентилятора мощностью 50 ватт.

В начальном периоде наблюдений среднее арифметическое обоих постоянных времени входа электрометрических контуров было $\theta = 0,220$, притом обе постоянные отличались между собой приблизительно на 5%. В сентябре 1964 года постоянные времени обоих электрометрических контуров были подогнаны к одинаковому значению $\theta = 0,200$; отличие обоих постоянных стало <2%. Последнее требование вытекало из произведённого нами теоретического анализа работы фотоэлектрической установки [2].

Периодические определения запаздывания показали, что оно является вполне устойчивым, и отклонения отдельных определений получались в пределах ошибок измерений.

Как правило, по результатам наблюдений всей ночи независимо от количества звезд было выведено одно среднее значение поправки часов, которое было отправлено в ВНИИЭТРИ для обработки при определении эталонного времени.

В наблюдениях 1964 и 1965 гг. приняли участие 7 сотрудников обсерватории, имеющие следующие условные обозначения /в скобках дано количество ночей определения времени и количество наблюдаемых звездных прохождений/ : М.А. Дирикис - Д /10,205/; Э.Я. Каупуша - К /25,572/; Л.Ф. Роге - Р /51,1705/; Л.А. Роге - Ро /10,235/; И.К. Рунгаине - Ру /33,1014/; К.А. Штейнс - Ш /11,225/ и Ю.Л. Францман - Ф /7,201/.

Анализ точности определения эталонного времени за 1964 и 1965 годы проведен Д.Ю. Белоцерковским [3],[4]. Там же по отклонениям наблюдаемых поправок u_i от принятых u /вычисленных в системе эталонного времени/, публикуемых в бюллетенях, выполнена оценка точности астрономических определений времени каждой участвующей службы времени.

Для службы времени Латвийского Государственного университета в Риге, обозначенной - Р, постоянство на-

блюдений от месяца к месяцу за 1964 год характеризуется величиной $m_{\alpha} = \pm 9,9$ мсек и за 1965 год $m_{\alpha} = \pm 7,9$ мсек, которое для передовых служб времени на этот период характеризуется меньшей соответствующей ошибкой, например, $\pm 1,7$ мсек для Московской объединенной /Мо/ в 1964 году и $\pm 4,4$ мсек для Пулковской службы времени /П/ в 1965 году.

Просмотр отклонений $U_{\alpha} - U$ и также месячных значений лично-инструментальной ошибки Δ за эти годы по наблюдениям службы времени - Р в бюллетенях "Эталонное время" [5] свидетельствует о наличии сравнительно устойчивой сезонной волны в системе определения времени в Риге.

Выявлению причин такой, на наш взгляд, недостаточной устойчивости наблюдений службы времени Латвийского Государственного университета и посвящается настоящее исследование.

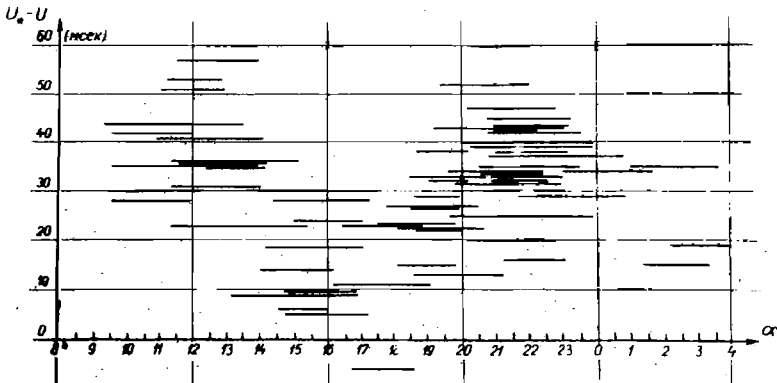


Рис. 1

Нами был проведен опыт сравнения отклонений поправок часов от принятых с прямыми восхождениями звезд, по которым определены соответствующие поправки часов. В качестве примера на рисунке 1 по горизонтальной оси изображены прямые восхождения, по вертикальной отклонения поправок часов в миллисекундах. На графике отло-

жены все отклонения поправок часов службы времени Р, опубликованные в "Эталонное время" за 1965 год. Каждое отклонение $u_* - u$ изображено отрезком прямой, концы которого соответствуют прямому восхождению первой и последней звезд, наблюдаемых при определении поправки часов.

Рисунок 1 показывает довольно четко выраженную зависимость между величиной отклонения $u_* - u$ и прямыми восхождениями звезд. Эта зависимость оказалась поразительно похожей на кривую систематических равностей прямых восхождений вида $\Delta \alpha_d$ каталога FK4 и каталога Ц₁ службы времени ЦНИИГАиК, которая была выведена по материалам, любезно представленным нам В.Э. Брандтом. Обнаруженная зависимость послужила поводом для разоскивания связи между сезонной волной системы наших наблюдений и систематическими ошибками вида $\Delta \alpha_d$ каталога FK4, в системе которого согласно международной рекомендации велась обработка наблюдений.

Несмотря на то, что наблюдения отдельных служб времени, в том числе и Р, могут быть сильно отягощены систематическими ошибками прямых восхождений каталога FK4, можно предположить, что эталонное время, выведенное по совокупности наблюдений многих служб времени, должно значительно меньше зависеть от ошибок каталога FK4, так как: а/ в некоторых службах времени, поскольку нам известно в П, Мо и М_ы / ВНИИЭТРИ - Москва /, обработка наблюдений в этот период произведена в более лучших системах каталога чем FK4; б/ наблюдения на астролябиях Данжона гораздо меньше зависят от систематических ошибок прямых восхождений вида $\Delta \alpha_d$; в/ наблюдения южных служб времени, как Зикавейской обсерватории /З/ и Цыцзыньшаньской обсерватории /Ц/, менее искажены ошибками каталога этого вида, так как систематические ошибки прямых восхождений звезд, расположенных ближе к экватору, являются значительно меньшими по абсолютной величине, чем северных; г/ в отдельных службах времени велись длинные ряды наблюдений /от вари до вари/.

Поэтому мы решили произвести анализ наших наблюдений в более хорошей системе исходного каталога. Имелось основание считать, что Пулковский опорный каталог Пу α Ф678, или сокращенно Ф678 [6] как в систематическом, так и в случайном отношении превосходит систему прямых восхождений каталога FK4, так как он выведен по результатам многочисленных высокоточных наблюдений пулковской службы времени. Нам любезно была предоставлена возможность пользоваться индивидуальными поправками прямых восхождений каталога Ф678 его авторами еще до выхода в свет публикации, за что мы искренне благодарны. Нами были перевычислены все поправки часов 1964 и 1965 годов в системе прямых восхождений каталога Ф678. При выполнении этой трудоемкой работы участвовал почти весь коллектив службы времени.

Оказалось, что около 90% звезд, наблюдаемых в Риге содержатся в каталоге Ф678. При перевычислении поправок часов были использованы только эти звезды, а остальные были отброшены. Таким образом были получены новые значения поправок часов.

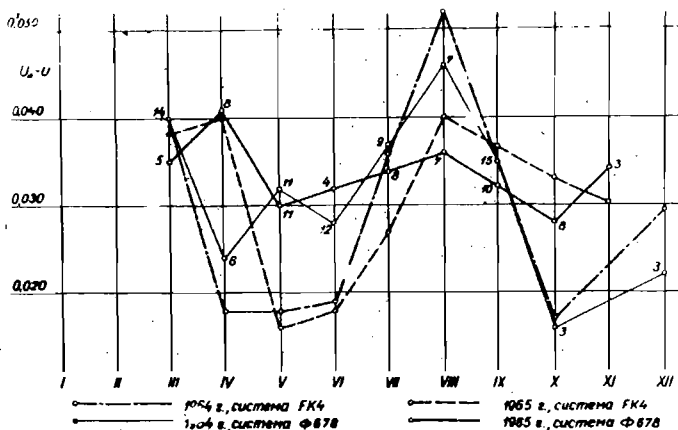


Рис. 2

Среднемесячные значения $u-u$ 1964 и 1965 годов как в системе каталога FK4, так и в системе каталога Ф678

изображены на рисунке 2. Числами при соответствующих точках обозначено количество ночей определения времени в данном месяце. Были отброшены месяцы, в которых меньше 3 ночей наблюдений /февраль 1964 года и декабрь 1965 года/. Видно, что в системе каталога Ф678 значительно повысилась устойчивость наблюдений. Особенно заметно это по наблюдениям 1965 года.

Нами были вычислены значения средних квадратических ошибок $E_{и*}$, $m_{и}$, $m'_{и}$ и m_{α} согласно [3], [4] для рижских определений времени после перевода на систему каталога Ф678. Здесь $E_{и*}$ - средняя за год ср.кв. ошибка определения поправки часов, вычисленная по внутренней сходимости, $m_{и}$ - ср.кв. ошибка определения поправки часов, вычисленная по уклонениям наблюденных поправок от принятых после исключения средней за год лично-инструментальной ошибки, $m'_{и}$ - ср.кв. ошибка определения поправки часов, вычисленная по уклонениям наблюденных поправок от принятых после исключения выравненных для каждого месяца лично-инструментальных ошибок и m_{α} - ср.кв. колебание системы наблюдатель-инструмент, характеризующее ее постоянство от месяца к месяцу. Полученные результаты в мсек совместно с опубликованными Д.Ю.Белоцерковским [3], [4] в системе каталога FK4 приводятся в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Год	Сист. каталога	$E_{и*}$	$m_{и}$	$m'_{и}$	m_{α}	α
1964	FK4	± 5	$\pm 14,5$	$\pm 10,6$	$\pm 9,9$	$+30,1$
	Ф678	± 5	$\pm 10,9$	$\pm 9,1$	$\pm 6,0$	$+33,4$
1965	FK4	± 5	$\pm 12,6$	$\pm 9,8$	$\pm 7,9$	$+30,4$
	Ф678	± 4	$\pm 10,2$	$\pm 10,0$	$\pm 2,2$	$+32,9$

Таблица 1 указывает на повышение точности опреде -

ления времени с переходом на систему прямых восхождений каталога Ф678. Особенно выразительно это отражено в предпоследней графе ошибкой m_{α} , характеризующей колебание системы наблюдатели-инструмент. Отсюда следует, что одним из основных источников сезонной волны наших определений времени в 1964 и 1965 годах являются систематические ошибки прямых восхождений каталога FK4 вида $\Delta\alpha$, в системе которого велась обработка наблюдений.

Так как уменьшение средних квадратических ошибок E_{α} , m_{α} и m'_{α} с переводом наблюдений на систему Ф678 не так выразительно, следует отметить, что случайные ошибки наблюдения наших определений времени довольно велики.

Повидимому благоприятно на точность определения времени повлияло изменение постоянных времени входа обоих электрометрических контуров фотоэлектрической установки, при котором было достигнуто сближение их значений. Это было осуществлено осенью 1964 года. Специальное исследование о роли термической изоляции на точность определения времени нами не проведено.

В пользу устойчивости инструментальных ошибок говорит и сравнение средних за год лично-инструментальных ошибок σ в мсек как в системе каталога FK4, так и в системе каталога Ф678, помещенных в таблице 1.

Мы считали целесообразным в какой то мере использовать и наблюдения звезд отсутствующих в каталоге Ф678, для приведения их к системе прямых восхождений этого каталога, хотя это не является основной целью нашего исследования. Так, следующий этап работы содержал определение поправок $\Delta\alpha$ наблюдаемых звезд, которые отсутствуют в каталоге Ф678, т.е. по определенным в системе каталога Ф678 значениям азимута инструмента и поправок часов для этих звезд определялись остаточные отклонения, среднее арифметическое из которых, полученное по всем наблюдениям каждой звезды, рассматривалось как искомое значение $\Delta\alpha$.

В таблице 2 даны полученные нами результаты для

тех звезд, прохождение которых наблюдалось не меньше 10 раз. Столбцы 1 и 2 содержат № звезд по каталогам КГЗ и FK4. В столбцах 3 и 4 даются приближенные координаты α и δ , в столбце 5 - количество наблюденных прохождений n , 6 - поправка к прямому восхождению системы каталога FK4 для приведения к системе $\Phi 678$ в $0^s,001 - \Delta\alpha$, 7 - ср. кв. ошибка поправки $\Delta\alpha$ в $0^s,001 - \epsilon_{\Delta\alpha}$, 8 - ср. кв. ошибка одного наблюдения, приведенная к экватору, в $0^s,001 - \epsilon_1 \cos \delta$, 9 - ср. эпоха наблюдений Θ .

Ввиду небольшого числа наблюдений в осенне-зимние периоды 1964 - 1965 годов список не содержит звезд в интервале от 0^h до 9^h прямого восхождения.

Т а б л и ц а 2

№ звезды КГЗ FK4		α	δ	n	$\Delta\alpha$	$\epsilon_{\Delta\alpha}$	$\epsilon_1 \cos \delta$	Θ 1960+
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1274	-	9,6	+40	10	+26	± 5	± 11	4,71
-	381	10,1	-12	11	-11	11	33	4,20
1505	-	12,1	+ 6	12	+20	9	29	4,73
1579	-	12,8	+38	10	+62	6	15	4,76
1620	-	13,2	+40	19	-22	4	14	4,76
1699	516	14,0	+ 2	20	+16	6	26	4,78
1723	527	14,2	+46	15	- 1	6	17	4,79
1985	621	16,5	+43	20	- 3	3	10	4,89
2010	-	16,8	+46	15	+ 1	4	11	4,84
2055	643	17,2	+37	24	+ 2	4	16	4,88
2264	-	18,8	+21	14	- 7	9	29	5,02
2499	-	20,4	+49	23	-14	3	10	5,17
2513	-	20,5	+47	20	- 5	5	14	5,18
2523	1539	20,6	+21	20	-11	5	19	5,17
2629	-	21,4	+47	27	-31	3	10	5,18
2641	809	21,5	+70	33	-25	4	8	5,18
2758	-	22,3	+46	31	-10	3	12	5,23
2842	869	23,0	+42	25	- 2	± 4	± 13	5,22

Для оценки точности наблюдений в зависимости от склонения по данным таблицы 2 составлена таблица 3 со следующими столбцами: 1 - интервал склонений, 2 - количество звезд N , 3 - ср. кв. ошибка одного наблюдения в данном интервале, приведенная к экватору, в $0^{\circ},001 - \epsilon, \cos \delta$, 4 - то же по пулковским наблюдениям для 1957 - 1959 гг. по данным каталога Ф6' [7].

Данные таблицы 3 указывают на то, что наблюдения экваториальных звезд вплоть до 30° склонений, менее точны, чем соответствующие фотоэлектрические наблюдения 1957 - 1959 гг. в Пулкове. Однако наблюдения звезд южной и северной зоны не уступают пулковским. Следует отметить, что использованный материал недостаточен для окончательных выводов.

Т а б л и ц а 3

δ	N	$\epsilon, \cos \delta$	$\epsilon, \cos \delta$ Ф 6'
1	2	3	4
$< 0^{\circ}$	1	± 33	± 20
$0^{\circ} - 10^{\circ}$	2	28	20
$10^{\circ} - 20^{\circ}$	-	-	17
$20^{\circ} - 30^{\circ}$	2	25	16
$30^{\circ} - 40^{\circ}$	2	15	14
$40^{\circ} - 50^{\circ}$	10	10	12
$50^{\circ} - 60^{\circ}$	-	-	12
$60^{\circ} - 70^{\circ}$	1	± 8	11
$70^{\circ} - 80^{\circ}$			± 10

Так как в будущем предусмотрено в службе времени Латвийского Государственного университета вычисление поправок часов производить в системе опорного каталога Ф678, то возможно дополнить рабочий список звезд теми звездами таблицы 2, склонения которых больше 30° . Можно считать, что система Ф678 из-за этого не будет нарушена.

47
Л и т е р а т у р а

1. К. А. Цирулис, Уч. зап. Латв. Г. У., т. 68, вып. 2, 5, Рига, 1964.
2. К. А. Штейнс и Л. Ф. Рове, Уч. зап. Латв. Г. У., т. 68, вып. 2, 7, Рига, 1964.
3. Д. Ю. Белоцерковский, Эталонное время, февраль, Москва, 1965.
4. Д. Ю. Белоцерковский, Эталонное время, февраль, Москва, 1966.
5. Эталонное время, Москва, 1964 - 1965.
6. П. М. Афанасьева, Н. Н. Павлов, Г. В. Старичин, Тр. ГАО, т. 75, 29, Ленинград, 1966.
7. Н. Н. Павлов, Изв. ГАО, т. 22, вып. 3, № 108, 2, Ленинград, 1961.

K o p s a v i l k u m s

L. R o z e

LATVIJAS VALSTS UNIVERSITĀTES LAIKA DIENESTA 1964. UN
1965. GADA NOVEROJUMU SISTĒMAS PĒTĪJUMI

Latvijas Valsts universitātes laika dienesta novērojumiem, kas 1964. un 1965. gadā apstrādāti kataloga FK4 sistēmā, ir visai izteikts gada vilnis. Pēc novērojumu pārrēķināšanas Pulkovas atbalsta kataloga Φ 678 sistēmā [6] vilnis ievērojami samazinās. 18 zvaigznēm, kas neietilpst kataloga Φ 678, dotas korekcijas rektascensiju reducēšanai šī kataloga sistēmā.

S u m m a r y

L. R o z e

INVESTIGATION OF THE SYSTEM OF OBSERVATIONS DURING
THE YEARS 1964 - 1965 IN TIME SERVICE OF THE
LATVIAN STATE UNIVERSITY

The observations in Time Service of the Latvian State University during the years 1964 - 1965 calculated in the system of FK4 show a very expressive annual wave. Applying the Pulkovo Reference Catalogue system Φ 678 [6] this wave considerably decreases. For 18 stars not included in the catalogue Φ 678 corrections are given to reduce their right ascensions in the above mentioned system.

К.А. Штейнс, К.А. Цирулис
и Э.Я. Каупша

ИСКУССТВЕННАЯ ЗВЕЗДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАЗДЫВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ

§ 1. Теория определения запаздывания

Различные устройства для определения запаздывания фотоэлектрического усилителя построены на основе различных принципов. Величина запаздывания при фотоэлектрических наблюдениях звездных прохождений в основном определяется постоянной времени входа лампы — электрометра, диаметром изображения звезды, яркостью звезды и скоростью перемещения звезды; последнее зависит от склонения звезды. Наиболее распространенным приемом определения запаздывания является определение запаздывания для прямоугольных сигналов, где учитывается влияние постоянной времени. Перед объективом фотоэлектрического пассажного инструмента помещается неоновая лампа, вспышки света которой попадают на фотозлемент. Зажигание и тушение неоновой лампы происходят практически безинерционно, поэтому фототок имеет прямоугольную форму. Так как моменты зажигания и тушения неоновой лампы можно точно зарегистрировать, то определение запаздывания для прямоугольных сигналов просто и точно. Всегда можно подобрать освещенность от неоновой лампы так, чтобы ее световой поток на фотопомножитель был равен световому потоку от звезды любой величины. При наблюдениях звезд фототок не имеет при-

моугольной формы, однако по запаздыванию прямоугольных сигналов можно определить постоянную времени входа лампы - электрометра. Влияние диаметра изображения и скорости перемещения звезды определяется на основе теоретических соображений. В теории развитой Н.Н. Павловым предполагается, что фототок имеет трапецевидную форму со синусоидальными сторонами. Диаметр изображения звезды входит как параметр в функцию, от которой берется синус. Этот параметр определяется на основе данных наблюдений и по сути дела может и не отвечать геометрическому понятию "диаметр". Определение диаметра является трудоемкой задачей. Предлагается прибор имитирующий более точно реальные условия, с помощью которого возможно определить как "диаметр" изображения звезды, так и параметры, входящие в нами развитую теорию запаздывания. Для непосредственного измерения запаздывания синусоидальных сигналов В.Э. Брандт [1] изготовил специальный прибор, состоящий из коллиматора с точечным источником света и модулятора светового потока с системой контактов, позволяющих регистрировать моменты появления /исчезновения/ светового потока.

При определении поправок часов на пассажном инструменте не важно знать, через какую нить или край щели решетки или какого-либо другого определенного места астрономического инструмента проходит изображение звезды в момент, для которого определяется запаздывание регистрирующего устройства. Считается, что запаздывание известно, если по зарегистрированному моменту или по нескольким зарегистрированным моментам, учитывая запаздывания, можно построить для любого прохождения момент, которому соответствует одно и то же положение изображения звезды в астрономическом инструменте. На практике вводится т.н. среднее запаздывание, то есть запаздывание, на которое исправляется среднее арифметическое из двух последующих зарегистрированных моментов. Мы рассмотрим запаздывание для момента, который имеет одинаковые запаздывания при прямом и обратном движении искусственной звезды.

Предположим, что зарегистрированы истинные моменты прохождения искусственной звезды через определенные точки x_1, \dots, x_n при прямом и обратном движении, т.е. $t_1 < t_2 \dots < t_n < t'_n \dots < t'_1$. Обозначим через t_0, t'_0 моменты прохождения изображения искусственной звезды через точку x_0 , для которой запаздывание при прямом и обратном движении одинаковы. Величины t_0, t'_0 и x_0 нам неизвестны. Обозначим через t_b, t'_b моменты регистрации выхода сигнала из фотоэлектрической установки. Для определения среднего запаздывания τ и x_0 который зависит от азимута инструмента, имеем следующие уравнения

$$t_b = t_0 + \tau, \quad (1)$$

$$t'_b = t'_0 + \tau, \quad (2)$$

$$t_0 - t_i + t'_0 - t'_{i+1} = t_{i+1} - t_i = t'_i - t'_{i+1}, \quad (3)$$

$$x_0 = x_i + \frac{(t_b - t_i - \tau)(x_{i+1} - x_i)}{t_{i+1} - t_i} = x_{i+1} - \frac{(t'_b - t'_{i+1} - \tau)(x_{i+1} - x_i)}{t'_i - t'_{i+1}}, \quad (4)$$

и следовательно

$$\tau = \frac{1}{2} (t_b + t'_b) - \frac{1}{4} (t_{i+1} + t_i + t'_i + t'_{i+1}), \quad (5)$$

а по постоянству поправок к x_i и x_{i+1} в формулах (4) можно судить о постоянстве азимута инструмента.

Еще раз подчеркнем, что формула (5) применима при условии, что запаздывания при прямом и обратном движении искусственной звезды имеют одинаковые значения и что искусственная звезда движется равномерно. На практике моменты t'_{i+1} и t'_i могут быть искажены из-за наличия мертвого хода Δx и из-за ширины контакта регистрирующего реле. Если при обратном движении имеется мертвый ход Δx , то t'_{i+1} и t'_i регистрируются несколько раньше, т.е.

$$\Delta t'_{i,1} = \Delta t'_i = v \cdot \Delta x, \quad (6)$$

где v скорость движения источника света. Вследствии ширины контакта при обратном движении контакты также регистрируются несколько раньше. Ширина контактов в нашем устройстве определялась при помощи печатающего хронографа в единицах времени.

§ 2. Описание искусственной звезды

Нами предложенная искусственная звезда построена подобно искусственной звезде Ламбера для исследования личного уравнения при регистрации моментов прохождения с безличным микрометром [2] следующим образом /рис. 1/. На прецизионном винте a надета муфта с резь-

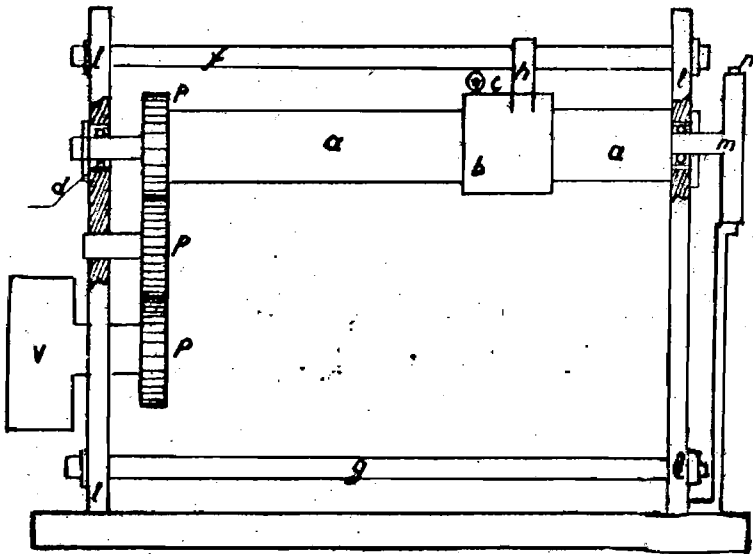


Рис. 1.

бой β . На муфте, смонтирован источник света — искусственная звезда ϵ . Прецизионный винт лежит горизонтально, опираясь концами в шариковые подшипники α , укрепленные на вертикальных стойках ν . Так как в муфте неподвижно скрепленный источник света опирается через h на стержень f , который установлен параллельно оси винта, то при вращении винта световой источник и, следовательно, муфта скользит вдоль оси винта. Согласно теории запаздывания, разработанной для предложенной нами искусственной звезды в §1, положение источника света должно быть на прецизионном винте фиксированным в определенных точках винта. Для этого на конец оси винта a насажен неподвижно скрепленный с винтом диск μ с индексом λ , с помощью которого фиксируется во времени положение источника света через каждый полный оборот/рис. 1/ Параллельно прецизионному винту a смонтированы стержни g и f на концы которых надеты гайки. При натяжении упомянутых гаек шариковые подшипники прижимаются к винту, таким образом лишая винт возможности болтаться вдоль своей оси.

Для уменьшения мертвого хода от муфты β отделена некоторая ее часть и между ними помещена пружина, которая прижимает резьбу муфты к резьбе прецизионного винта a . Для уменьшения мертвого хода была использована также спиральная пружина от часов.

Прецизионный винт a приводится во вращение мотором V с помощью системы шестерен. Конкретно в нашем случае был использован синхронный мотор ДСД60-П1, который при частоте 50 гц дает 60 об/мин. Мотор V работает при 127 в, и его мощность невелика — 15 ва. Применялся также мотор ДС — 1. Чтобы уменьшить трение при движении муфты, прецизионный винт имеет сравнительно небольшой диаметр — 9 мм. С помощью вспомогательной линзы искусственная звезда наблюдается примерно при 50-кратном уменьшении. При ширине щели зеркальной решетки в 0,1 мм искусственная звезда должна переместиться примерно на 5мм, чтобы ее изображение на зеркальной решетке переместилась на ширину щели. Так как мотор ДСД60-П1 мо-

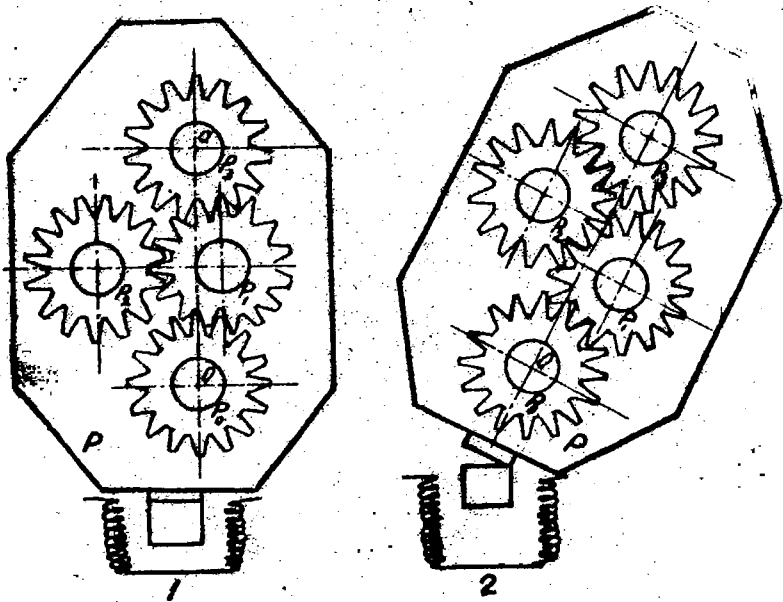


Рис. 2.

жет работать при частоте в пределах от 10 - 100 гц, то для иммитирования движения звезд шаг у винта был выбран в 2 мм.

В первом параграфе настоящей статьи было показано, что для определения запаздывания необходимо наблюдать искусственную звезду при прямом и обратном движениях. Так как за соответствующий промежуток времени положение искусственной звезды должно быть строго фиксированным, т.е. расположение зеркальной решетки по отношению к прецизионному винту должно сохраниться одним и тем же, то естественно стремление, чтобы наблюдения проходили по возможности в течение короткого промежутка времени. Поэтому изменения направления движения искусственной звезды происходят автоматически при по-

мощи реверсивного переключателя ρ , схема которого для двух положений показана на рис. 2. Реверсивный переключатель состоит из трех сцепляющихся одинаковых шестеренок ρ_0, ρ_1, ρ_2 . Шестерня ρ_0 надета на вращательную ось мотора θ . На вращательную ось мотора θ надет также рычаг ρ реверсивного переключателя, в который вделаны оси; вокруг этих осей могут вращаться шестеренки ρ_1, ρ_2 . При помощи реле ρ_3 рычаг можно поставить как в положение 1 /рис.2/, так и в положение 2 /рис. 2/. В положении 1 вращение ρ_0 передается шестеренке ρ_2 , которая надета на прецизионный винт через шестеренку ρ_1 ; ρ_2 вращается вхолостую. Следовательно ρ_0 и ρ_2 вращаются в одном направлении, и т.к. шестеренки ρ_0, ρ_1 и ρ_2 имеют одинаковые основные радиусы, то ρ_0 и ρ_2 вращаются с одинаковыми скоростями. В положении 2 вращение ρ_0 передается шестеренке ρ_1 через шестеренки ρ_2 и ρ_3 , следовательно, ρ_0 и ρ_3 вращаются в противоположных направлениях с одинаковыми скоростями. Основные радиусы шестеренок $\rho_0, \rho_1, \rho_2, \rho_3$ равны 8,2 мм, и число зубцов у них - 42.

§ 3. Э л е к т р и ч е с к и е ц е п и

Источник света -искусственная звезда должна менять направления движения на концах прецизионного винта длина которого - 110 мм. Для этого имеются два реле, схема включения которых дается на рис. 3.

В момент, когда движущийся контакт B , который через муфту b соединен с землей, находится в положении A_1 , через левый виток реле C течет ток; следовательно, замыкается контакт реле C_n . Если замыкание цепи в точке A_1 через изолированный контакт прекращается, то контакт реле C_n остается в замкнутом положении, т.к. реле является двухпозиционным с преобладанием. После замыкания контакта C_n через левый виток реле P течет ток и рычаг ρ реверсивного переключателя занимает положение 2 /рис.2/ и, следовательно, муфта движется вправо. Когда движущийся контакт B соединяется с изолированным контактом A_2 , происходит изменение направления движе-

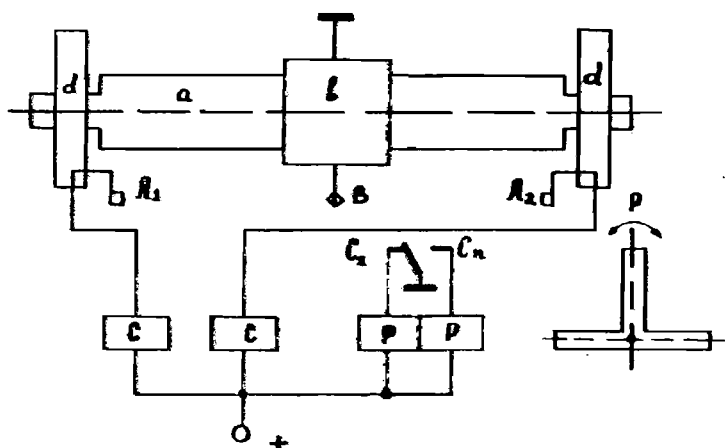


Рис. 3.

ния муфты, аналогичного тому, как это происходило в точке M_1 .

Так как источник света должен перемещаться с различными постоянными скоростями, то был построен генератор, который дает следующие частоты: 30, 40, 50, 70 и 100 гц. Согласно §1 требуется, чтобы в течение двух серий, т.е. в течение движения источника света от одного конца прецизионного винта до другого и обратно, величина частоты могла быть равна только примерно 30 гц или по надобности другому из упомянутых значений, но она в это время должна быть, по возможности постоянной.

Генератор собран на лампе L_1 по схеме мультивибратора, который синхронизирует двухтактный усилитель мощности, собранный на лампах L_2 и L_3 рис.4.

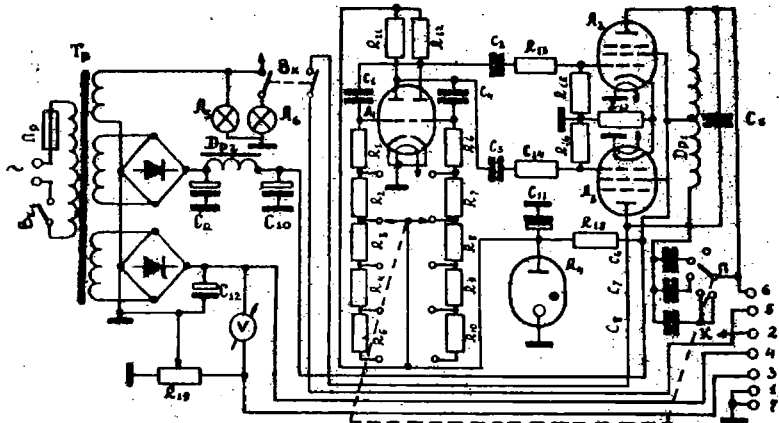


Рис. 4.

Частоту мультивибратора определяют сопротивления сеточной цепи $R_1 \div R_{10}$ и ёмкости C_1 и C_4 . При разных комбинациях сопротивлений меняются параметры цепи, следовательно, и частота колебаний. Сочетая сопротивления R_1 и R_6 , R_2 и R_7 , R_3 и R_8 , R_4 и R_9 , R_5 и R_{10} можно соответственно получить следующие частоты: 100 гц; 70 гц; 50 гц, 40 гц и 30 гц. Для поддержания стабильной частоты в схеме предусмотрен стабилизатор напряжения, который собран на лампе A_4 . Стабилизатор удерживает постоянным анодное напряжение мультивибратора, следовательно, и частота остаётся постоянной.

Усилитель мощности синхронизируется мультивибратором. Нагрузкой усилителя является синхронный мотор, который подключается к контактам 5 - 6 разъемной фишки. Дроссели D_1 и ёмкости $C_5 - C_8$ образуют настроенный кон-

тур, который настраивается на частоту мультивибратора переключателем П, тем самым сохраняя синусоидальную форму переменного напряжения на нагрузке.

Из сказанного видно, что синхронный мотор вращается со скоростью, точно соответствующей частоте мультивибратора. Следовательно, увеличивая частоту мультивибратора увеличивается скорость вращения мотора и наоборот.

Для остановки мотора предусмотрен выключатель "Вк". Лампочка Л₆ сигнализирует о включении и выключении синхронного мотора.

Блок анодного питания мультивибратора и усилителя мощности собран по обычной мостовой схеме. Лампочка искусственной "звезды" /см. схему 4/ питается постоянным током от отдельного выпрямителя, также собранного по мостовой схеме. Питание лампочки постоянным током исключает мигание лампочки частотой 50 гц, которое бы наблюдалось при питании переменным током. При помощи реостата меняется яркость горения лампочки. Прибор "У" предусмотрен для контроля напряжения. Лампочка искусственной "звезды" с блоком питания соединяется через контакты 4 - 3 разъединительной фишки.

Контакт 2 соединён с печатающим хронографом.

§ 4. Вывод формулы для исследования зубчатой передачи

Для определения запаздывания по формуле (5) необходимо, чтобы источник света двигался равномерно. Основными причинами, искажающими равномерное движение источника света, следует считать: 1/зубчатую передачу, 2/ошибки резьбы винта и муфты, 3/различные люфты в укреплении оси винта и источника света. В настоящем параграфе исследуем те неравномерности в движении источника света, которые вносятся зубчатой передачей.

Из хорошо разработанной теории эвольвентных профилей нас интересуют только те вопросы, рассмотрение которых помогает выяснить вопрос о возможных источниках

вызывающих неравномерное движение ведомого колеса. Рассмотрим соответствующие вопросы. Эвольвента круга, которую можно получить качением полупрямой по окружности, имеет, очевидно, следующее свойство: нормали эвольвенты круга касаются круга. На рисунке 5 показаны две

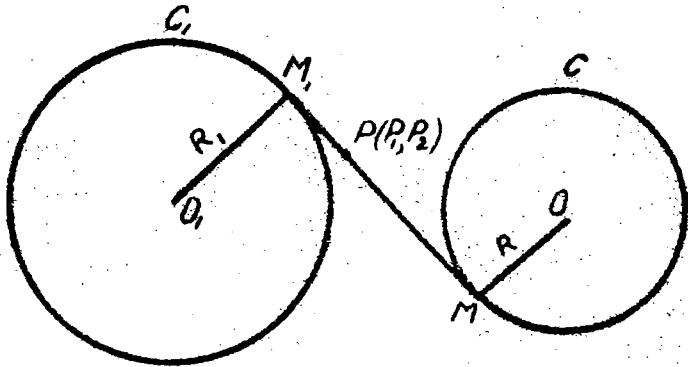


Рис. 5.

окружности O, O_1 и две точки их эвольвент P_1, P_2 лежащих на профиле зубьев в их общей точке касания P . Нормаль в точке P у них общая, и, следовательно, она согласно свойствам эвольвенты круга касается как круга O в точке M так и круга O_1 в точке M_1 . Таким образом, в случае эвольвентных профилей точки зацепления лежат на общей касательной MM_1 . Если имеется механизм с парой качения, то в точке соприкосновения звенья имеют одинаковые скорости. В нашем случае имеется механизм с парой качения и скольжения, поэтому скорости в точке соприкосновения не одинаковы и отличаются касательно составляющей, хотя нормальные составляющие скоростей v_n у точек P_1 и P_2 одинаковы.

В точках касания M и M_1 скорости направлены по прямой зацепления MM_1 . Так как при произвольном движении твердого тела проекции скоростей двух точек на их

соединяющую прямую одинаковы, то скорости в точках M и M_1 одинаковы и равны v_n [5].

Следовательно

$$\omega R = \omega_1 R_1, \quad (7)$$

где ω, ω_1 — угловые скорости, R, R_1 — основные радиусы соответствующих зубчатых колес. Из сказанного также следует, что если расстояние между осями вращения колес меняется, то передаточное число не меняется и формула (7) остается в силе. Это имеет место также в случае, когда шестерня изготовлена правильно, но посажена на рабочий вал с зазором. В нашем случае посадочное отверстие изготовлялось нами, и, следовательно, мог возникнуть сравнительно большой посадочный эксцентриситет ϵ центра основной окружности O' относительно оси вращения O . Рассмотрим влияние этой погрешности более подробно. Пусть даны два идеальных цилиндрических круглых эвольвентных зубчатых колеса, которые смонтированы эксцентрически. Пусть центры вращения колес будут O и O_1 , а центры основных окружностей O' и O'_1 соответственно (рис. 6). Положения центров основных окружностей фиксиру-

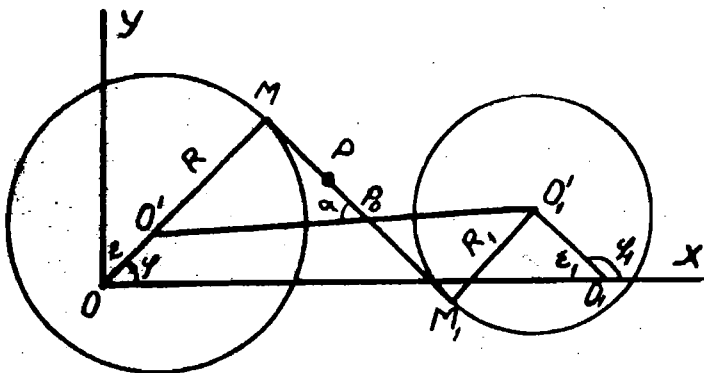


Рис. 6.

ются углами поворота φ и φ_1 и линейными эксцентриситетами ε , ε_1 .

Поместим начало координат в центре вращения O , а ось проведем через центр вращения другого зубчатого колеса O_1 , $OO_1 = d$.

Согласно рисунку

$$\begin{aligned} x_0 &= \varepsilon \cos \varphi, & x'_0 &= \varepsilon_1 \cos \varphi_1 + d, \\ y_0 &= \varepsilon \sin \varphi. & y'_0 &= \varepsilon_1 \sin \varphi_1. \end{aligned} \quad (8)$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} x_{p_0} &= \frac{R_1 \varepsilon \cos \varphi + R \varepsilon_1 \cos \varphi_1}{R + R_1} + \frac{R d}{R + R_1}, \\ y_{p_0} &= \frac{R_1 \varepsilon \sin \varphi + R \varepsilon_1 \sin \varphi_1}{R + R_1}. \end{aligned} \quad (9)$$

Зная координаты полюса зацепления P_0 и направляющий тангенс прямой зацепления $\operatorname{tg}(MM_1, x)$ без труда можно по известным формулам аналитической геометрии определить расстояния центров вращения O и O_1 до прямой зацепления и, следовательно, отношение угловых скоростей по следующей формуле

$$w_1 : w = \frac{x_{p_0} - y_{p_0} \operatorname{ctg}(MM_1, x)}{d - x_{p_0} + y_{p_0} \operatorname{ctg}(MM_1, x)}. \quad (10)$$

Так как в нашем случае y_{p_0} малая величина первого порядка, то, учитывая вид формулы, направляющий тангенс прямой зацепления можно определить без учета эксцентриситетов, т.е.

$$\operatorname{ctg}(MM_1, x) \approx -\operatorname{ctg} \alpha \approx -\frac{d}{R + R_1}. \quad (11)$$

Таким образом, имеем

$$\omega_i : \omega = \frac{R}{R_i} \left\{ 1 + \left[\frac{1}{R} + \frac{1}{R_i} \right] \left[\frac{R_i \varepsilon \cos \varphi + R \varepsilon_i \cos \varphi_i}{d} + \frac{R_i \varepsilon \sin \varphi + R \varepsilon_i \sin \varphi_i}{R + R_i} \right] \right\}. \quad (12)$$

В случае системы шестерней имеем с точностью до малых величин порядка эксцентриситетов

$$\frac{\omega_{i+1}}{\omega_0} = \frac{R_0}{R_{i+1}} \left\{ 1 + \sum_{j=0}^i \left[\frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_{j+1}} \right] \left[\frac{R_{j+1} \varepsilon_j \cos \varphi_j + R_j \varepsilon_{j+1} \cos \varphi_{j+1}}{d_{j,j+1}} + \frac{R_{j+1} \varepsilon_j \sin \varphi_j + R_j \varepsilon_{j+1} \sin \varphi_{j+1}}{R_j + R_{j+1}} \right] \right\}. \quad (13)$$

Очевидно, что формула (13) может быть приведена к следующему виду :

$$\omega_{i+1} : \omega_0 = \frac{R_0}{R_{i+1}} \left\{ 1 + \sum_{j=0}^i (a_j^1 \cos \varphi_j + b_j^1 \sin \varphi_j) \right\}, \quad (14)$$

где a_j^1 и b_j^1 являются функциями основных радиусов шестерней и их эксцентриситетов и зазора, т.е. не являются функциями времени, при чем a_j^1 , b_j^1 являются малыми величинами порядка относительных эксцентриситетов ε_j , R_j .

Подставляя в уравнение

$$\omega_k = (-1)^k \frac{d\varphi_k}{dt} \quad k = 0, \dots, i+1 \quad (15)$$

и учитывая, что в правой части формулы (14) $\cos \varphi_j$ и $\sin \varphi_j$ имеют малые множители, после интегрирования имеем

$$\varphi_{i+1} - \varphi_0 = \frac{R_0}{R_{i+1}} \left\{ \omega_0 t + \omega_2 \sum_{j=0}^i (-1)^j \left[\frac{a_j^1}{\omega_j} \sin \varphi_j - \frac{b_j^1}{\omega_j} \cos \varphi_j \right] \right\} \quad (16)$$

для постоянного ω_0 .

Если значение $\varphi_{i+1} - \varphi_{i+1}^0$ растет пропорционально времени, то это указывает на то, что у шестерней отсутствуют эксцентриситеты или другие аналогичные ошибки. При исследовании шестерней можно применять тот же принцип измерения, который применяют в астрометрии при определении поправок диаметров разделенных кругов, т.е. измерять некоторый постоянный угол. Поэтому на диске m был устроен, кроме индекса n , дополнительный индекс n_1 , которые позволили фиксировать два строго определенных, хотя и неизвестных значения $t_1(\varphi_{i+1}^{(1)})$ и $t_2(\varphi_{i+1}^{(2)})$.

На основе формулы (16) имеем

$$\varphi_{i+1}^{(2)} - \varphi_{i+1}^{(1)} = \frac{R_0}{R_{i+1}} \omega_0 (t_2 - t_1) + \sum_{j=0}^{i+1} [a_j (\sin \varphi_j^{(2)} - \sin \varphi_j^{(1)}) + b_j (\cos \varphi_j^{(2)} - \cos \varphi_j^{(1)})], \quad (17)$$

где a_j и b_j не зависят от $\varphi_j^{(1)}$, $\varphi_j^{(2)}$. Освобождая зацепление между j -тым и $j+1$ -вым колесом и изменяя φ_j , мы можем получить необходимое количество уравнений для определения коэффициентов a_j , b_j . Следует отметить что формула (17) имеет место при некоторых добавочных условиях, если некоторые из шестерен смонтированы на общей оси вращения.

§ 5. Анализ ошибок зубчатой передачи

Исследование зубчатой передачи, схема которой показана на рис. 7 начнем с оценки устойчивости системы: мотор+система шестерен+монтажка прецизионного винта. Если в формуле (17) подставить

$$\varphi_j^{(2)} = \varphi_j^{(1)} + 2K_p \pi, \quad j = 0, \dots, i+1, \quad (18)$$

где K_p — целые числа, то

$$\varphi_{i+1}^{(2)} - \varphi_{i+1}^{(1)} \Big| \frac{R_0}{R_{i+1}} \omega_0 T, \quad (19)$$

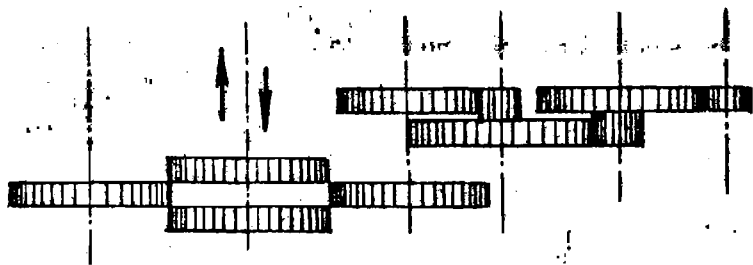


Рис. 7.

причём T — промежуток времени соответствующий $\min K_g$.

В нашем случае система состоит из шести шестерен мотора, и четырех одинаковых шестерен — из которых три принадлежат реверсивной передаче, а одна надета на прецизионный винт. Если первая шестерня системы совершает 100 оборотов, то за то же время вторая и третья — 25 оборотов, четвертая и пятая — 5 оборотов, а остальные 2 оборота /рис. 7/. Таким образом, в нашем случае величина T соответствует двум оборотам последних шестерен. Для оценки устойчивости системы измерялись отклонения ΔT измеренных значений T от его среднего значения, т. е. от среднего промежутка времени, в течение которого индекс совершал два полных оборота. Так как отклонения получались небольшие, то регистрация моментов велась при помощи осциллоскопа. Наблюдения велись при $T = 2$ сек. Устойчивость системы можно оценить в среднем в $\pm 0,0002$ сек, т.е. считать, что неустойчивость системы

шестерён и монтажки практически отсутствует. Исследование устойчивости системы проводилось также на печатающем хронографе 21 П, т.е. исследовались полученные на 21 П промежутки времени, за которые индекс совершил два оборота. В отличие от исследований на осциллооскопе при исследовании на хронографе 21 П промежутки времени T зависели также от стабильности частоты тока мотора искусственной звезды, т.к. вращение хронографа синхронизировалось кварцевыми часами. В отклонения T от его среднего значения входили также ошибки печатающего хронографа.

Для простоты введем следующий символ фаз

$$\left\{ \begin{array}{cccccc} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 \\ b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 & b_7 \end{array} \right\} \quad (19)$$

где a_i обозначают соответственно фазы линий эксцентриситетов первой, второй, третьей, четвертой, пятой и т.д. шестерён при первом отсчете времени, а b_i - при втором. Если две шестерни находятся на общей оси, то фаза указывается только один раз. Сам символ обозначает равенство между вторым и первым показанием времени. Так как начальные фазы, которые принимаются условно, не меняются за время перемещения источника света от одного конца винта до другого, а меняются при изменении направления, то складывать символы будем только одной и той же серии наблюдений. При помощи реверсивного переключателя можно менять фазы первых девяти шестерён относительно индекса n , т.е. наблюдать при различных фазах зацепления.

Для оценки устойчивости всей регистрирующей установки, включая ошибки хронографа 21 П, рассмотрим величину

$$D_0 = \left\{ \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right\},$$

где фазы в символе фаз D_0 указаны с точностью до полных оборотов. Отклонения вычислялись как для прямого (n), так и для обратного движения (c) при 30 гц и 70 гц.

Результаты сопоставлены в таблице 1.

Т а б л и ц а № 1

Фаза за цепления	30 гц		70 гц	
	$\bar{D}_1(n) - \bar{D}_0(n)$ в мсек	$\bar{D}_1(0) - \bar{D}_0(0)$ в мсек	$\bar{D}_1(n) - \bar{D}_0(n)$ в мсек	$\bar{D}_1(0) - \bar{D}_0(0)$ в мсек
0°	+1	+1	0	-1
30°	0	0	0	0
72°	-1	0	0	+1
108°	0	-1	+1	0
144°	+1	+1	0	0
180°	-1	-1	0	0
216°	0	0	0	0
252°	0	0	-1	+1
288°	+1	0	0	-1
324°	0	-1	+1	0

В § 4 дана формула (17), по которой возможно определить эксцентриситеты всех колес системы. Мы не собираемся определять поправки для моментов за эксцентриситеты шестерен, а только желаем показать, что они достаточно малы и, следовательно, ими можно пренебречь.

Начнем с анализа ошибок первой шестерни. За половину оборота первой шестерни последняя шестерня делает 0,01 часть своего оборота. Так как у первой шестерни диаметр 3 мм, а согласно техническим условиям ошибка эксцентриситета не должна превышать 0,05 мм, то больших ошибок короткопериодической составляющей не должно быть.

Рассмотрим следующую величину :

$$D_1 = \frac{1}{2} \left[\left\{ \begin{array}{cccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 310^\circ & 78^\circ & 88^\circ & 179^\circ & 179^\circ & 179^\circ & 179^\circ & \end{array} \right\} \right]^{\dagger}$$

$$\left. \begin{array}{cccccc} 0^\circ & 180^\circ & 180^\circ & 360^\circ & 360^\circ & 360^\circ & 360^\circ \\ 310^\circ & 258^\circ & 268^\circ & 539^\circ & 539^\circ & 539^\circ & 539^\circ \end{array} \right\}$$

причем целые обороты в первых трех столбцах символа отброшены. Каждому столбцу символа фаз соответствует в формуле (12) следующий член

$$a_j (\sin \varphi_j^{(2)} - \sin \varphi_j^{(1)}) + b_j (\cos \varphi_j^{(2)} - \cos \varphi_j^{(1)}).$$

Так как фазы второго и третьего столбцов первого символа, которые представляют эксцентриситеты второго, третьего, четвертого и пятого шестерней отличаются на 180° от соответствующих фаз второго символа, то \bar{D}_i не зависит от эксцентриситетов упомянутых шестерней. Поэтому, чтобы оценить ошибку эксцентриситетов первого, шес-

Т а б л и ц а № 2

Фаза зацеп- ления	30 гц		70 гц	
	$\bar{D}_i^{(2)} - \bar{D}_i^{(1)}$ прямое дв. в мсек	$\bar{D}_i^{(3)} - \bar{D}_i^{(1)}$ обратное дв. в мсек	$\bar{D}_i^{(4)} - \bar{D}_i^{(1)}$ прямое дв. в мсек	$\bar{D}_i^{(5)} - \bar{D}_i^{(1)}$ обратное дв. в мсек
0°	0	+1,5	0	0
36°	+1	+3,0	0	0
72°	+1	+3,5	0	+1
108°	+1,5	+1,5	0	0
144°	-0,5	-1,0	0	+1
180°	-1,5	-1,5	0	0
216°	-1,5	-3,0	-1	-1
252°	-0,5	-3,5	0	-1
288°	-0,5	-2,0	0	-1
324°	-0,5	0,0	+1	-1

того, седьмого, восьмого, девятого шестерней, рассмотрим отклонения средних значений \bar{D}_i , для i -той серии от об -

этого среднего значения \bar{D}_1 . Отклонения вычислялись как для прямого, так для обратного движений источника света при 30 гц и 70 гц. Прямым движением мы называем движение, при котором влечены все шестерни реверсивного переключателя. Как видно из таб.2, при прямом и обратном движениях имеются волны с небольшими амплитудами, которые дадут все шестерни, кроме второй, третьей, четвертой, пятой.

Рассмотрим величину

$$D_2 = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 180^\circ & 180^\circ & 360^\circ & 360^\circ & 360^\circ & 360^\circ \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} 0 & 180^\circ & 180^\circ & 360^\circ & 360^\circ & 360^\circ & 360^\circ \\ 0 & 360^\circ & 360^\circ & 720^\circ & 720^\circ & 720^\circ & 720^\circ \end{Bmatrix}$$

где в первых трех столбцах символа фаз целое число оборотов отброшено. Очевидно, что величина D_1 зависит только от эксцентриситетов второй, третьей, четвертой и пятой шестерён. В таблице 3 даны средние значения D_1 .

Т а б л и ц а 3

Фаза зацеп ления	30 гц		70 гц	
	$\bar{D}_1(\kappa)$ в мсек	$\bar{D}_1(\sigma)$ в мсек	$\bar{D}_1(\kappa)$ в мсек	$\bar{D}_1(\sigma)$ в мсек
0°	6	5	1	1
36°	3	6	3	1
72°	3	7	1	3
108°	2	2	3	1
144°	5	3	2	3
180°	4	2	4	2
216°	3	8	2	3
252°	10	1	2	2
288°	8	7	1	3
324°	9	4	3	4

для каждой серии и разных фаз зацепления для прямого (π) и обратного (σ) движений. Как видно из таблицы, наибольшее значение $|\bar{D}_2| = 0,010$ сек. Хотя отклонения, данные в таб. 3, характеризуют влияние ошибок эксцентриситетов на регистрируемые моменты, однако они не входят в запаздывание в полной мере, т.к., во-первых, шаг интерполяции равен $\frac{1}{2}T$ и, во-вторых, в запаздывание входят отклонения от \bar{D}_2 , т.е. вдвое меньшие значения.

Рассмотрим следующую величину :

$$D_3 = \frac{1}{2} \left\{ \begin{array}{cccccc} 0 & 180^\circ & 180^\circ & 360^\circ & 360^\circ & 360^\circ \\ 310^\circ & 258^\circ & 268^\circ & 559^\circ & 559^\circ & 559^\circ \end{array} \right\} + \\ + \left\{ \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 720^\circ & 720^\circ & 720^\circ \\ 310^\circ & 78^\circ & 88^\circ & 899^\circ & 899^\circ & 899^\circ \end{array} \right\},$$

где в первых трех столбцах также отброшено целое число оборотов. Подсчитывая среднее значение для одной серии \bar{D}_3 , т.е. для наблюдений при непрерывном прямом или обратном движении, мы можем оценить ошибки регистрации, вносимые эксцентриситетами всех шестерён за исключением последней шестерни, которая смонтирована на прецизионном винте. Чтобы учесть ошибку эксцентриситета последней шестерни, мы меняли положения диска на котором находятся индексы n_1 . Оказалось, что последняя шестерня даёт результаты не хуже остальных шестерней, поэтому мы приводим только результаты наблюдений без учёта ошибок эксцентриситета последней шестерни. Они даны в таблице 4.

На основании данных, приведенных в таблицах 1, 2, 3 и 4, можно сделать следующие выводы :

1. Ошибки регистрации пропорциональны скорости движения источника света.

2. Максимальная ошибка регистрации возникает при 30 гц $\pm 0,004$ сек.

Если предположить, что ошибки, вносимые эксцентриситетами шестерён, при регистрации моментов времени распределяются по нормальному закону, и учитывать за-

Т а б л и ц а № 4

Фаза зацеп- ления	30 гц		70 гц	
	$ \bar{D}_3(n) - \bar{D}_3(n) $ в мсек	$ \bar{D}_3(\omega) - \bar{D}_3(\omega) $ в мсек	$ \bar{D}_3(n) - \bar{D}_3(n) $ в мсек	$ \bar{D}_3(\omega) - \bar{D}_3(\omega) $ в мсек
0°	1	0	1	0
36°	2	1	1	0
72°	2	2	0	0
108°	2	1	0	0
144°	1	1	0	2
180°	1	0	1	0
216°	1	0	1	0
252°	4	2	1	1
288°	1	1	0	0
324°	0	0	1	0

для "трех Δ ", то средняя квадратичная ошибка регистрации одной серии $\pm 0,002$ сек, т.е. при наблюдении 10 серий мы имеем $\pm 0,0005$ сек. При переключении направления движения источника света в конце прецизионного винта, вообще говоря, фаза зацепления меняется, однако некоторые значения фаз встречаются более часто. Для того, чтобы ошибки регистрации при определении запаздывания имели случайный характер, следует менять положение инструмента относительно искусственной звезды, т.е. менять α .

§ 6. Исследование равномерности движения источника света

Основным требованием при определении запаздывания для нашей установки является строго фиксированное положение источника света, которое фиксируется благодаря использованию равномерного движения источника света. В предыдущем параграфе оценивались неравномерности, ко-

торы вносятся эксцентricностью шестерён и колебанием частоты генератора. Ошибки в неравномерности движения источника света также вносятся вследствие периодических и прогрессивных ошибок резьбы прецизионного винта и муфты, и, как показала практика, особенно изменением мертвого хода. Равномерность движения источника света в целом исследовалась следующим путем. Непосредственно перед источником света была помещена узкая щель. Источник света перемещался вдоль прецизионного винта, периодически затухая и вспыхивая. Перед движущимся источником света находился фотоаппарат "Зенит" с открытым объективом. Вся установка находилась в темном помещении. Для получения хорошего качества штрихов на пленке были соблюдены следующие условия:

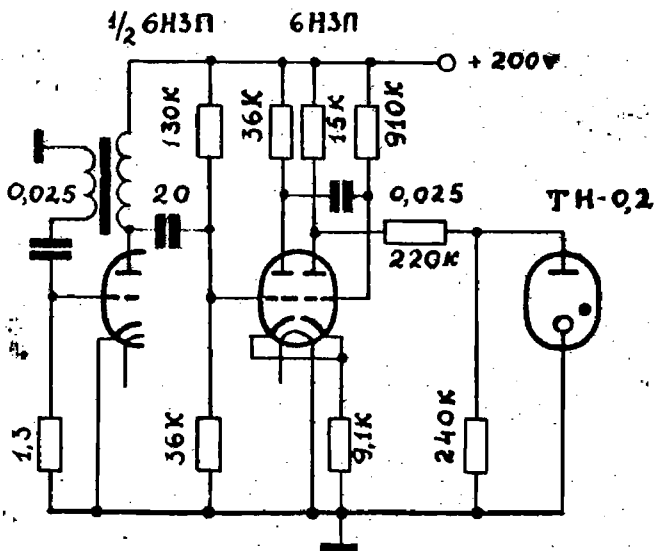


Рис. 8.

1. В качестве источника света использовалась неоновая лампа ТН-0,2 имеющая малую инертность порядка не-

скольких микросекунд при зажигании и гашении.

2. Световые импульсы повторялись примерно через каждые 0,1 сек. Длительность световых импульсов 0,007 сек. Схема генератора импульсов света показана на рис. 6.

3. Ширина щели 40 м. За время подачи светового импульса края щели перемещались на 14 микронов, что вносило сравнительно малую посылу уменьшения контрастности в направлении краев.

4. В качестве краев щели использовались края лезвий.

5. Снимок делали на пленке ГДР "ORWO", чувствительность которой 27 дин /400 ASA/.

6. Снимки были сделаны при малом расстоянии предмета от объектива фотоаппарата, т.е. $f: d \approx 1/f$ - фокусное расстояние, d - расстояние до предмета/.

7. Применялся проявитель, дающий большую контрастность.

8. Измерялись только центральные части кадров.

После проявления и соответствующей обработки пленки измерялись расстояния между соседними изображениями щелей. Точно навести нить на середину изображения щели при измерении расстояний между щелями трудно, т.к. края вследствие рассеяния света из-за сравнительно крупных зерен эмульсии получились нечетко и ширина изображения щели сравнительно большая. Для измерения положения изображения щелей использовался модернизированный измеритель координат УИМ-21 с автоматическим измерителем показаний шкал. Автоматический измеритель действовал безошибочно, поэтому точность измерения полностью определялась точностью наведения нити на середину изображения щели. Ширина щели изображения в нашем случае была 45 м. При увеличении, которое имеется в инструменте УИМ-21, она выглядела большой, и, следовательно, навести нить на середину изображения щели точно не удавалось. Чтобы уменьшить ошибку, делалось десять наведений на каждое изображение и бралось среднее арифметическое. Средняя квадратическая ошибка одного измерения ± 1

*.

Чтобы удобнее сравнить результаты исследования рав-

номерности движения источника света, полученные фотографированием изображения щелей, с результатами исследования соответствующих неравномерностей, зависящих от эксцентриситетов шестерён, целесообразно перейти от расстояний на промежутки времени Δ за которые источник света при 50 гц проходил эти расстояния. При переходе следует учитывать, что шаг винта равен 2 мм и что период обращения винта 1 сек. Результаты наблюдений некоторой серии представлены в таб. 5 в миллисекундах.

Т а б л и ц а 5

Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
89,0	87,0	87,5	85,0	85,0	86,0	84,5	87,5	88,0	89,0	88,0
90,0	86,5	86,0	85,0	89,0	87,5	88,5	86,5	89,0	87,5	93,0
87,0	87,0	89,0	86,0	86,0	90,5	89,5	85,5	88,0	90,5	86,5
84,0	91,0	88,5	89,0	87,5	86,0	89,0	87,0	82,5	84,5	87,5
88,0	88,0	90,0	88,0	88,0	84,0	82,0	85,5	87,5	85,0	86,0
86,5	88,5	88,0	88,0	87,0	85,5	87,5	89,0	89,5	89,0	87,0
86,5	86,0	82,0	87,5	87,5	89,0	86,5	88,0	89,5	84,5	85,5
85,0	86,5	88,0	87,5	90,0	91,5	90,5	87,0	88,0	86,5	86,0
87,5	86,0	87,5	88,5	86,5	85,5	85,5	85,5	81,5	87,0	
88,0	88,0	87,5	86,5	84,5	91,5	86,0	87,5	86,5	85,5	

На рис. 9 представлены разности показаний движения источника света в мсек $\Delta\Delta_i$. Они характеризуют равномерность движения источника света. Чтобы выяснить вопрос о том, имеются ли значительные периодические неравномерности в движении источника света или нет, определялась корреляционная функция для функции, представленной на рис. 9, и ее спектральная плотность по следующим формулам

$$\beta(\tau) = \frac{1}{m-\tau} \sum_{i=1}^{m-\tau} \Delta\Delta_i \cdot \Delta\Delta_{i+\tau} \quad (20)$$

$$S_K(\omega) = \frac{2}{m} \sum_{\tau=1}^m \beta(\tau) \cos \frac{\pi K \tau}{m} + \frac{\beta(0)}{m}, \quad (21)$$

где m — число подвергшихся наблюдению значений разностей промежутков $\Delta \Delta_i$. Корреляционная функция представ-

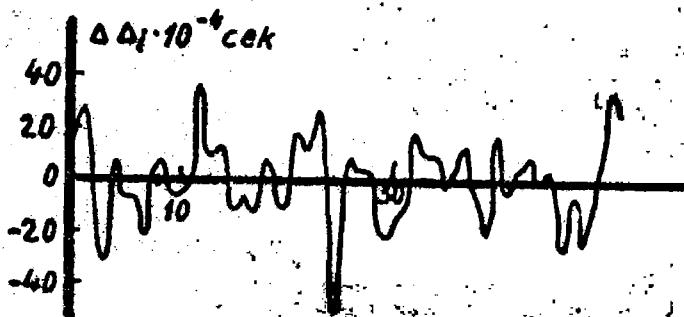


Рис. 9.

лена на рис. 10, а значения для спектральной плотности даны в таблице № 6 в сек². На основе данных спектральной плотности можно заключить, что никаких явно выраженных периодических неравномерностей в движении источника света не имеется. Значение $\beta(0)$ намного больше — выявляет периодические неравномерности и оно втятое в месте с периодическими ошибками больше, чем ошибки в таблицах № 1 по № 4. Очевидно, что ввиду больших ошибок поставленного эксперимента нам в этом эксперименте не удалось открыть неравномерностей вызванных эксцентриситетами шестерён. Несмотря на это, следует признать исследование с движущимся источником света удачным, т.к на основании того можно утверждать, что нет других значительных ошибок кроме ошибок, получающихся из-за эксцентриситетов шестерён.

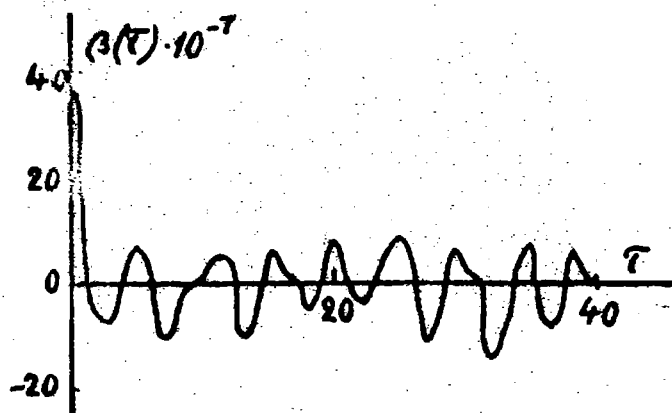


Рис. 10.

Т а б л и ц а № 6

κ	$S_{\kappa}(w) \times 10^8$	κ	$S_{\kappa}(w) \times 10^8$	κ	$S_{\kappa}(w) \times 10^8$	κ	$S_{\kappa}(w) \times 10^8$	κ	$S_{\kappa}(w) \times 10^8$
1	-26	11	+129	21	-50	31	+141	41	-111
2	-43	12	- 2	22	-33	32	- 53	42	+ 3
3	-17	13	- 54	23	+14	33	- 30	43	+ 13
4	-54	14	- 27	24	-60	34	- 32	44	+ 39
5	-18	15	- 42	25	-28	35	- 43	45	+ 35
6	-36	16	+ 20	26	-12	36	- 31	46	+ 71
7	-21	17	-104	27	+70	37	- 13	47	+130
8	-54	18	+ 86	28	-54	38	- 34	48	-100
9	-23	19	-143	29	+66	39	+181	49	+ 8
10	-50	20	+182	30	-133	40	+150	50	- 52

§ 7. О точности работы искусственной звезды

В предыдущих параграфах настоящей работы дан анализ основных ошибок искусственной звезды. К ошибкам искусственной звезды иногда относят поправки за счет мертвого хода и ширины контакта. Пусть мертвый ход муфты равен Δx , а ширина контакта равна ℓ . Формула (5) для определения запаздывания τ имеет место независимо от того, имеется ли мертвый ход и контакт с конечной шириной или нет. При наличии мертвого хода следует считать, что при обратном движении искусственной звезды зарегистрирован не момент t_1' , а момент $t_1'' = t_1' - \frac{\Delta x}{v}$. Для построенной нами искусственной звезды $\Delta x = 5 \mu$, следовательно, для экваториальной звезды поправка за мертвый ход $\Delta \tau = -0,0012$ сек. Аналогично можно учесть поправку за ширину контакта. По геометрическим размерам контакта ℓ и скоростью его вращения возможно только оценить верхний предел величины поправки за ширину контакта $\Delta \tau$ по следующему неравенству $|\Delta \tau| < \frac{\ell h}{4\pi R v}$, где h — шаг винта, R — радиус диска на котором находится индекс n . В нашем случае для экваториальной звезды

$$|\Delta \tau| < \frac{0,5 \cdot 2000}{4 \cdot 30 \cdot 4000} = 0,002 \text{ сек.}$$

Поправку за ширину контакта можно определить при помощи печатающего хронографа, переключая его то на режим "начало", то на режим "конец". Наблюдения дают $\Delta \tau = 0,002$ для 30 гц.

Искусственная звезда должна быть размещена на неподвижном столбе. Требования к устойчивости и к неподвижности столба, на котором помещена искусственная звезда, гораздо меньше, чем требования к пассажному инструменту и столбу, на котором он размещен, т.к. перемещения изображения звезды в инструменте в 50 раз уменьшены. В нашем случае искусственная звезда находилась на железной ферме, основание которой погружено

на 150 см в землю и залито цементом. Высота фермы над землей 280 см. Железные звенья фермы—размерами 80см×5 см×2см. Вспомогательная линза для получения параллельных лучей размером $\phi 106_{\text{мм}}$ с фокусным расстоянием 4700 см помещена на столбе из цемента. Столб пассажного инструмента и столб, на котором расположена вспомогательная линза, неподвижно скреплены с цилиндром, который погружен в землю на 14 м. Толщина стен цилиндра примерно метр. Чтобы источник света располагался по возможности в фокальной плоскости линзы коллиматора, проделывалась следующая процедура. Во-первых, изображение источника света в пассажном инструменте совмещалось с серединой щели зеркальной решетки, по которой перемещаются изображения звезд. После между искусственной звездой и пассажным инструментом ставилась вспомогательная линза так, чтобы изображение звезды на зеркальной решетке не меняло место. Затем, при помощи прибора для центрировки объективов центрировалась вспомогательная линза относительно оптической оси пассажного инструмента.

Л и т е р а т у р а

1. В.Э. Брандт, Труды ЦНИИГАиК, вып. 112, 23, 1956.
2. П.Н. Долгов, Определение времени пассажным инструментом в меридиане, Москва 1952.
3. И.И. Артоболовский, Теория механизмов, Москва 1965.

Kopsavilkums

K. Šteins, K. Cirulis
un E. Kaupuša

MĀKSLĪGĀ ZVAIGZNE FOTOELEKTRISKĀS IĒKARTAS NOKĀVĒŠANĀS
NOTEIKŠANAI

Doti uzkonstruētās mākslīgās zvaigznes apraksts un teorija. Iekārta "Mākslīgā zvaigzne" sastāv no gaismas avota kas vienmērīgi kustas pa precīzu skrūvi. Precīzās skrūves indeksi, tai vienmērīgi griežoties, fiksē gaismas avota stāvokli ar laika impulsu palīdzību. Gaismas avota kustības vienmērīgums atkarīgs no zobratu kļūdām. Zobratu kļūdu pētīšanai izstrādāta metodika analoga astrometrijā pielietotai ripka iedalījumu kļūdu pētīšanai. Zobratu kļūdas uzkonstruētai mākslīgai zvaigznei nepārsniedz 0,006 sek ($\text{Hz}=50$) lai iegūtu priekšstatu par integrālo precizitāti, fotografēti un izmērīti no gaismas avota vienmērīgi nākoši gaismas impulsi, tam kustoties.

Summary

K. Šteins, K. Cirulis
and E. Kaupuša

AN ARTIFICIAL STAR EQUIPMENT FOR DETERMINATION OF THE
LAG OF PHOTOELECTRIC DEVICE

Description and theory of an artificial star is given. This equipment consists of a light source, which moves uniformly by means of a micrometric screw. When the micrometric screw rotates its index fixes the position of the light source with the help of time-impulses. The regularity of motion of the light source is dependent on the errors of the gear-wheels. A method has been elaborated for studying errors of the gear-wheels, analogous to methods used for studying errors of circle divisions in astrometry. The errors of the gear-wheels do not exceed 0.006 of a time second. In order to obtain a clear picture of integral accuracy, impulses of light have been photographed and measured when the light source moves uniformly.

К.А. Штейнс и Э.Я. Каупша

О НЕКОТОРЫХ ОШИБКАХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
АО ЛГУ

§ 1. Исследование фотоэлектрической установки при помощи восьмিশлейфового осциллографа

Фотоэлектрическая установка Астрономической обсерватории Латвийского Госуниверситета для регистрации моментов прохождений звёзд собрана К.А. Цирулисом [1] по мостовой схеме. В каждом плече моста имеется один фотоэлектронный умножитель и четырехкаскадный усилитель постоянного тока. На фотоэлектрической установке К.А. Цирулиса можно выполнить некоторые вспомогательные исследования. К ней можно подключить осциллограф для записи усиленного фототока. Мы подключаем восьмিশлейфовый осциллограф после второго каскада усиления и получали для звёзд 6^m-7^m кривую фототока в неискаженном виде. Одна из осциллограмм показана на рис. 1. На рис. 1 легко усмотреть, что кривая фототока содержит составляющую переменного тока с частотой 50 гц. Такая же составляющая переменного тока видна на кривых остальных шлейфов. Чтобы выяснить вопрос, что дает составляющую переменного тока - фотоэлектрическая установка или восьмিশлейфовый осциллограф, мы записали соответствующий вибратор без подключения т.е. в замкнутом состоянии, а после 0,02 сек. с подключением к фотоэлектрической установке. Оказалось, что с точностью до

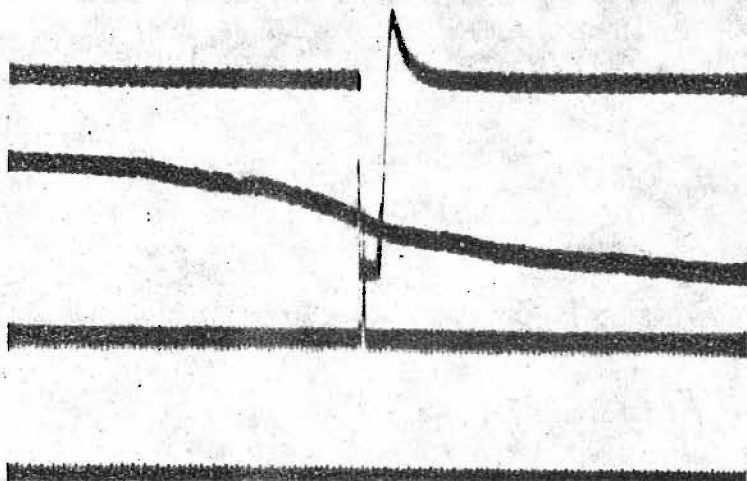


Рис. 1

±5% можно утверждать, что не фаза, не амплитуда переменной составляющей с частотой 50 гц не меняются при включении фотоэлектрической установки. Оценивая амплитуду переменной составляющей, мы пришли к заключению, что после второго каскада у фотоэлектрической установки

$$\frac{2\pi a}{T} < 0,4,$$

где a — амплитуда, T — период синусоидального колебания с частотой 50 гц, если для звезды пятой величины с δ -о тангенс угла наклона

$$\operatorname{tg} \alpha = 1,7.$$

С другой стороны, измеряя напряжение фототока осциллографом, мы убедились, что переменная составляющая с частотой 50 гц в фототоке действительно имеется. Её амплитуда в 2–5 раз больше, чем амплитуда дробления фототока, которая на осциллографе видна в виде пиков. К сожалению мы не смогли более точно оценить амплитуду колебаний с частотой 50 гц по сравнению с амплитудой

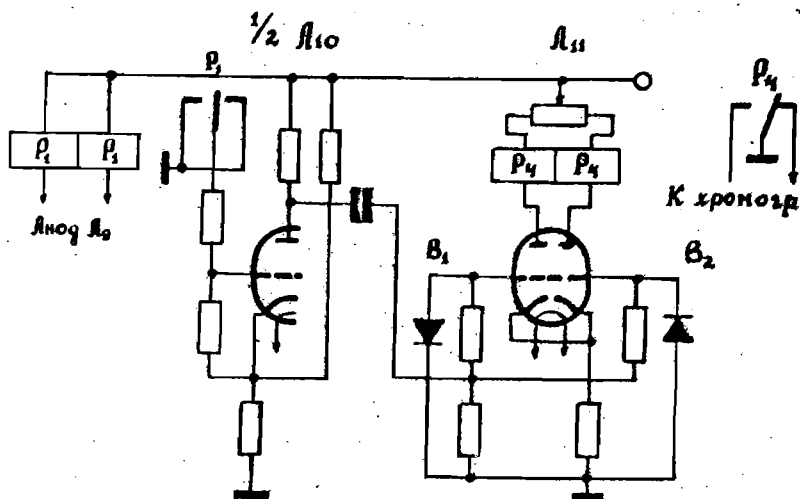


Рис. 2

кривой звезды т.к. она была слишком мала.

Кроме кривой фототока на рис.1 видно действие двух реле. Верхняя кривая показывает действие реле P_4 который находится на выходе к печатающему хронографу, а нижняя кривая показывает действие реле P_1 , который фиксирует прохождения звезды через зеркальную решетку. На рисунке 2 показана система реле фотоэлектрической установки Астрономической обсерватории Латвийского государственного университета [1]. Реле P_1 включен в анодную цепь лампы после четвертого каскада усиления. Так как через реле нельзя пропускать сильные токи, то импульс полученный на P_1 усиливается на лампе $1/2 L_{10}$. При отрыве реле получают ложные импульсы. Соответствующие импульсы, проходя через выпрямители B_1 и B_2 на L_{11} , дают мощный импульс одного знака, и реле P_4 и молоток печатающего хронографа срабатывают уверенно. На основе рис.1 и анализа многих других осциллограм мы пришли к следующим

заключениям :

1. Реле P_1 и P_4 срабатывают почти одновременно, т. е. промежуток времени между моментами их срабатывания порядка одной тысячной доли секунды.

2. Имеется дрожание якоря реле P_1 , однако действие якоря для данной звезды и данной половины реле повторяется тождественно. Например, 15 X 1966 г. мы наблюдали звезды 2584 / $\delta = 56^\circ$, $m = 5,7/$, 2599 / $\delta = 53^\circ$, $m = 5,3/$, 1294 / $\delta = 59^\circ$, $m = 3,9/$, у которых на правой части реле дрожание длилось 0,008 сек, а на левой 0,015 сек. У звезд 2572 / $\delta = 41^\circ$, $m = 3,9/$ и 2664 / $\delta = 50^\circ$, $m = 4,8/$ дрожание обеих половин реле были одинаковы и равны 0,008 сек. Очевидно, что дрожание реле P_1 происходит из-за колебательных электрических процессов в обмотках реле и не вносят такие либо систематические или случайные ошибки в регистрируемые моменты прохождения звезд.

3. После усилений на кривой фототока нет значительных пиков, если не считать переменную составляющую с частотой 50 гц и пики непосредственно после срабатывания реле P_1 и P_4 .

4. Иногда, в случае плохих условий регистрации, реле P_1 и вместе с ним P_4 после первого срабатывания дают ложные импульсы через 0,050 сек. Это явление объясняется тем, что срабатывания реле P_1 и P_4 вызывает колебания напряжения питания т.к. емкость конденсаторов стабилизирующих напряжение недостаточно велика.

Анализ астрономических наблюдений 1963 по 1966 гг. АО Латв. Госуниверситета по азывает, что двойные и тройные отпечатки на печатающем хронографе составляют незначительный процент от всех отпечатков. Примерно у 5% звезд имеются многократные отпечатки, притом только в случае плохих условий наблюдений. Большинство из них ложные [2]. Как правило при прохождении упомянутых звезд между 32 отпечатками имеется не больше 3 многократных отпечатков. Следовательно, ложные отпечатки только в исключительных случаях повлияли практически на величину поправки. После того, как нами был подтвержден [2] факт,

что среди многократных отпечатков имеются ложные, конденсаторы, стабилизирующие напряжения были заменены более мощными и наблюдаются только те звезды, которые не дают многократных отпечатков.

§ 2. Инерция работы регистрирующего устройства

Регистрация моментов звездных прохождений от фотоэлектрических пассажных инструментов в службах времени СССР происходит в большинстве случаев при помощи ондуляторов, а для регистрации моментов от визуальных пассажных инструментов применяются печатающие хронографы типа 21-П. В службе времени А0 Латв. Госуниверситета моменты прохождения звезд, полученные фотоэлектрической установкой, регистрируются на печатающем хронографе типа 21 П. Это очень удобно и просто, однако, в связи с применением печатающего хронографа 21 П возникают некоторые новые проблемы. Дело в том, что согласно техническим данным на хронографе 21 П возможно отпечатать не больше 16 отпечатков в секунду. Если имеется очень короткий импульс, то его невозможно отпечатать, а если имеется два очень близких импульса, то печатающий хронограф работает неуверенно. В связи с этим в фотоэлектрической установке А0 Латв. Госуниверситета импульс попадающий на вход печатающего хронографа был расширен и мелкие дробления объединены на лампе Л₁₁. Чтобы выяснить, как работает хронограф 21 П, был проведен следующий опыт. На вход печатающего хронографа через лампы Л₁₀ и Л₁₁ подавались импульсы от контакта искусственной звезды. Так как импульсы следовали друг за другом через одинаковые промежутки времени, то в случае отсутствия одного из них без труда можно было установить момент, когда он должен был появиться. На вход печатающего хронографа подавались также импульсы от фотоэлектрической установки формирующиеся там из-за прохождения изображения источника света через зеркальную решетку. Так как фотоэлектрическая

установка дает импульсы со сравнительно большим разбросом, то последние заполняют, после редукции на общий промежуток, равномерно весь промежуток между двумя последующими сигналами контакта π [3]. Так как на печатающем хронографе 21 П можно получить отпечатки не больше чем 16 в секунду, то очевидно, что некоторые из импульсов в окрестности импульсов контакта π не печатаются, и равномерность распределения импульсов при печати нарушается, т.е. вблизи концов интервалов возникают люки. Рассматривая отпечатки в окрестности импульсов контакта π , мы пришли к следующим заключениям: если сигнал от фотоэлектрической установки опережает сигнал от контакта π меньше чем на 0,05 секунду, то хронограф 21 П дает отпечаток лишь сигнала фотоэлектрической установки и наоборот, если сигнал от фотоэлектрической установки запаздывает относительно сигнала контакта π не больше чем на 0,05 секунд, то хронограф 21 П даёт только отметку индекса π . Соответствующие результаты наблюдений даны в таблице 1. Таким образом доказано, что при подаче сигнала через лампу Л₁₁ во всех случаях печатается только первый из сигналов, если промежуток между ними не больше 0,050-0,060 секунд.

* * *

Т а б л и ц а № 1

Количество сигналов индекса	Количество неотпечатанных сигналов индекса π в интервале после сигнала фотоэлектрической установки.					
	0-10 мсек	10-20 мсек	20-30 мсек	30-40 мсек	40-50 мсек	50-60 мсек
93	19	13	14	21	14	8

§ 3. Теория ошибки составляющей переменной тока

В случае идеальной работы усилителя, имеется достаточно хорошо разработанная теория запаздывания, которую можно применить при регистрации импульсов на печатающем хронографе. Однако, на практике на идеальную кривую фототока налагаются возмущения, главным образом периодические, с коротким периодом колебаний и со сравнительно большими амплитудами. В данном случае нас интересует, как эти колебания искажают момент, который был бы фиксирован если бы возмущений не было. Рассмотрим влияние периодического синусоидального возмущения в случае нормального режима. Пусть синусоидальный импульс имеет амплитуду a , период T и произвольную начальную фазу α /рис. 3/. Уравнение искаженной кривой фототока в окрестности нормального режима имеет следующий вид

$$i = i_1 + i_2 = \operatorname{tg} \alpha_0 t + a \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \alpha\right), \quad (1)$$

где $\operatorname{tg} \alpha_0$ — направляющий тангенс кривой фототока в нормальном режиме.

Если уровню регистрации соответствует ось t , то $t=0$ является моментом, который регистрируется в идеальном случае. При наличии синусоидальных возмущений, значение $t=0$ будет искажено на величину t , где t корень уравнения

$$i = 0. \quad (2)$$

Предположим, что все фазы α равновероятны и уравнение $i=0$ при любом значении α имеет одно единственное решение. В таком случае средний момент

$$t_{cp} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} t d\alpha = 0 \quad (3)$$

т.к. если при α_1 имеем корень t_1 , то при $\alpha_2 = -\alpha_1$ имеем $t_2 = -t_1$. Аналогичный результат можно получить усредняя t по i .

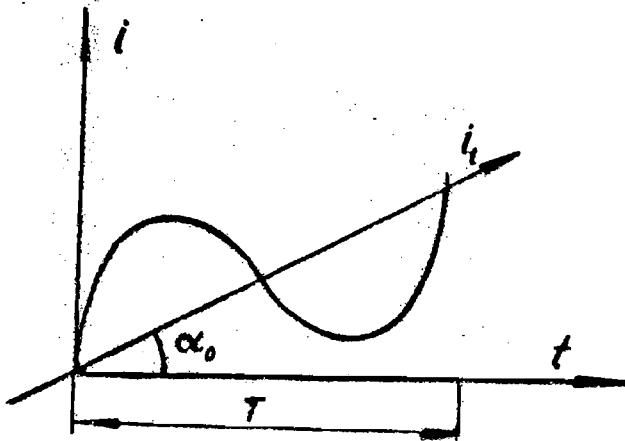


Рис. 3

В случае кратных корней уравнения $i = 0$ для простоты положим $\alpha = 0$ и при нахождении среднего момента t_{cp} будем исходить из геометрических соображений. Геометрически среднее запаздывание пропорционально площади фигуры заключенной между кривыми $i = i(t)$, 0 и $i_1 = tg \alpha_0 t$, причем значение площади берется со знаком "+", если фигура расположена над прямой $i_1 = tg \alpha_0 t$, а в противном случае со знаком "-". Если же регистрирующее устройство неспособно регистрировать два достаточно близких сигнала, то следует определять площади тех фигур, которые представляют поправки для регистрирующего устройства. На этом вопросе остановимся несколько позже, а теперь рассмотрим критерий возникновения дробления контакта. Очевидно, что для существования дробления контакта необходимо, чтобы уравнение $i(t, \alpha) = 0$ имело бы кратные корни. Очевидно, что кратные корни у уравнения $i(t, \alpha) = 0$

будут, если $i = i(t)_{\alpha=0}$ будет иметь экстремум, т.е.

$$\frac{di}{dt} = tg \alpha_0 + \frac{2\pi a}{T} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \alpha\right) = 0 \quad (4)$$

или

$$\cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \alpha\right) = \frac{-tg \alpha_0 T}{2\pi a} \geq -1. \quad (5)$$

Следовательно, необходимым условием возникновения кратных сигналов является

$$\frac{2\pi a}{T} = tg \alpha' \geq tg \alpha_0, \quad (6)$$

т.е. дробление контакта возникает тогда, когда крутизна возмущающих колебаний больше крутизны идеальной кривой фототока в нормальном режиме.

Для упрощения выкладок и подсчетов изменим масштаб осей следующим образом

$$\tau = \frac{2\pi}{T} t, \quad (7)$$

$$J = \frac{2\pi}{T} ctg \alpha_0 i. \quad (8)$$

В таком случае уравнение искаженной кривой фототока примет вид /при $\alpha=0$ /

$$J = \tau + \Lambda \sin \tau, \quad (9)$$

где

$$\Lambda = \frac{2\pi a}{T} ctg \alpha_0, \quad (10)$$

а условие дробления контакта

$$\Lambda > 1. \quad (11)$$

Обозначим через τ_m значение τ соответствующее максимуму, т.е.

$$\cos \tau_m = -\frac{1}{A} \quad (12)$$

и через τ_k значение τ , которое удовлетворяет равенству

$$J(\tau_m) = J(\tau_k) \quad (13)$$

причем

$$\tau_m \neq \tau_k.$$

В случае, если печатающий хронограф способен дать k отпечатков в единицу времени τ , то средний момент τ_{cp} мы определим следующим образом

$$\tau_{cp} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\tau_m} J(\tau) d\tau + (\tau_k - \tau_m) J(\tau_m) + \int_{\tau_k}^{2\pi} J(\tau) d\tau \right] -$$

$$-\pi = \frac{A}{\pi} \sin \frac{\tau_k + \tau_m}{2} \left[\sin \frac{\tau_m - \tau_k}{2} + \frac{\tau_k - \tau_m}{2} \cos \frac{\tau_k - \tau_m}{2} \right] \quad (14)$$

при

$$\tau_k - \tau_m < \frac{1}{k}.$$

Нами были вычислены значения τ_m и τ_k для ряда значений $A/A = 1, 1; 1,2 \dots 5,0/$. Соответствующие значения даны в таб.2. Имея эти значения легко вычислить τ_{cp} , которое также представлено в таб. 2.

Для общего случая имеем

$$\tau_{cp} = -\frac{1}{i_m} \int_0^{i_m} t di + \frac{1}{2} T. \quad (15)$$

Т а б л и ц а № 2

λ	t_m	$f(t_m)$	t_k	$t_k \cdot t_m$	τ_{cp}
1.1	2.7119	3.1702	4.0092	1.2973	0.0068
1.2	2.5559	3.2192	4.3346	1.7787	0.0247
1.3	2.4484	3.2791	4.5650	2.1166	0.0521
1.4	2.3664	3.3462	4.7454	2.3790	0.0871
1.5	2.3005	3.4186	4.8939	2.5934	0.1285
1.6	2.2459	3.4950	5.0199	2.7740	0.1753
1.7	2.1997	3.5744	5.1290	2.9293	0.2267
1.8	2.1598	3.6565	5.2251	3.0653	0.2821
1.9	2.1251	3.7406	5.3106	3.1855	0.3410
2.0	2.0944	3.8264	5.3876	3.2932	0.4029
2.5	1.9823	4.2736	5.6838	3.7015	0.7539
3.0	1.9106	4.7390	5.8896	3.9790	0.1314
3.5	1.8605	5.2146	6.0440	4.1834	1.5408
4.0	1.8235	5.6965	6.1656	4.3422	1.9676
4.5	1.7949	6.1824	6.2648	4.4700	2.4066
5.0	1.7722	6.6712	6.3479	4.5757	2.8584

Учитывая геометрическое значение интеграла имеем

$$\tau_{cp} = \frac{1}{T \operatorname{tg} \alpha_0} \left[\int_0^{t_m} i dt + (t_k - t_m) i(t_m) + \int_{t_k}^T i dt \right] - \frac{1}{2} T, \quad (16)$$

где

$$\cos t_m = \frac{-\operatorname{tg} \alpha_0 T}{2\pi a},$$

$$i(t_m) = i(t_k).$$

Если сделать подстановки (7) и (8), то получим

$$\tau_{cp} = \frac{T}{2\pi} \tau_{cp}. \quad (17)$$

Таким образом, при определении t_{cp} можно использовать значения τ_{cp} данные в таблице 2. Определим предел яркости звезд годных для наблюдений, т.е. определим до какой величины m звезды можно наблюдать, чтобы

$$t_{cp} < t_0. \quad (18)$$

Для фотоэлектрической установки АО ЛГУ им. П. Стучки /см. §1/ для крайнего случая имеем

$$\frac{2\pi a}{T} = 0,4 \quad (19)$$

$$t_{q\alpha_0} = 1,7 \cdot 10^{-0,4(m-5)} \cos \delta. \quad (20)$$

Следовательно для предельной кривой имеем следующее уравнение

$$t_{cp} = \frac{0,01}{\lambda} \tau_{cp},$$

где τ_{cp} берется из таб. 2 по аргументу

$$\lambda = 0,4 : 1,7 \cdot 10^{-0,4(m-5)} \cos \delta, \quad (21)$$

т.е. по значению τ_{cp} находится по таб. 2 значение λ . Рассмотрим два случая

$$t_{cp} = 0, \quad \tau_{cp} = 0, \quad \lambda = 1; \quad (22)$$

$$t_{cp} = 0,001, \quad \tau_{cp} = 0,3, \quad \lambda = 1,8. \quad (23)$$

Первый случай соответствует наблюдениям без дробления контактов. Второй случай допускает дробление контактов, однако в этом случае отклонение наблюдаемого момента от действительного не больше 0.001 сек. Результаты вычислений даны в таб. 3.

Рассматривая список звезд для наблюдений Служб времени СССР можем убедиться, что двойные сигналы могут возникнуть из-за наводки частотой в 50 гц при наблюдениях с фотоэлектрической установки АО ЛГУ им. П. Стучки

следующих звезд: 26, 119, 1601, 276, 306, 391, 1852, 575, 710, 744, 789, 906, 920, 980, 1030, GC 10420, 1092, GC 14180, GC 14377, 1423, 1492, 1568, 1575, GC 17702, 1617, 1745, 1811, 1847, 1852, GC 31507, 1030, 1092, 2697, 2702, 2752, 2771, 2823, 2838, 2874, 2889 /нумерация звезд по каталогу КГЗ /.

Кроме перечисленных звезд примерно такое число звезд при неблагоприятных условиях наблюдения могут дать двойные контакты. Однако, как это следует из правой части таблицы 3, переменная составляющая с частотой 50 гц дает систематическую ошибку меньше, чем 0,001 сек. Следует отметить, что двойных отпечатков из-за переменной составляющей с 50 гц нет, так как 21 П может срабатывать не чаще чем за 0,050 сек.

Т а б л и ц а № 3

$t_{cp} = 0 \text{ сек}$		$t_{cp} = 0,001 \text{ сек}$	
δ	m	δ	m
0°	6,6	0°	7,2
10°	6,6	10°	7,2
20°	6,5	20°	7,1
30°	6,4	30°	7,0
40°	6,3	40°	6,9
50°	6,1	50°	6,7
60°	5,8	60°	6,5
70°	5,4	70°	6,0
75°	5,1	75°	5,7

§ 4. Об ошибках фотоэлектрических установок с двумя различными постоянными времени контуров входа

Запаздывание фотоэлектрической установки регистрации прохождения звезд τ в основном определяется постоянной времени контура электрометрической лампы θ . В установке К.А. Дирулиса постоянные времени контуров входа прямого и отраженного изображения звезды при астрономических наблюдениях АО ЛГУ в 1964 году отличались на 0,02 сек. т.е. $\Delta = \frac{1}{2}(\theta_2 - \theta_1) = 0,001$. Согласно теории разработанной К.А. Штейнсом и Л.Ф. Розе [4] поправка к $\theta = \frac{1}{2}(\theta_2 + \theta_1)$ за разность постоянных времени фотометрических контуров

$$\Delta t = - \frac{\frac{\Delta i}{a i_0}}{1 - \frac{\Delta i}{a i_0}} \Delta, \quad (24)$$

где a — коэффициент усиления, i_0 — максимальной ток в контуре входа, Δi — разность силы постоянного тока катушек реле. Л.Ф. Розе [5] высказал предположение, что улучшение качества астрономических наблюдений точного времени 1965 года по сравнению с 1964 годом произошло потому, что в 1965 году $\Delta = 0$, а в 1964 году при $\Delta = 0,01$ сек допускались сравнительно большие Δi . Для проверки предположения Л.Ф. Розе были проведены при помощи искусственной звезды следующие эксперименты. 1. Показано, что значение τ почти полностью не зависит от неправильной регулировки напряжения относительно нормального режима. 2. Проверено, что запаздывание северной звезды равно среднему арифметическому значению θ . 3. Показано, что при сравнительно больших значениях Δi запаздывание τ значительно отличается от $\frac{1}{2}(\theta_1 + \theta_2)$. Остановимся более подробно на точности полученных результатов.

1. $\Delta i = 0$, вне нормального режима. Чтобы проверить, что запаздывание северных звезд равно среднему арифме

тическому значению θ , были проведены эксперименты с искусственной звездой 12 X 1966. Постоянная времени контура прямого изображения звезды была отрегулирована на $\theta_2 = 0,200$ сек, а постоянная времени контура отраженного изображения на $\theta_1 = 0,167$. Наблюдения велись при частоте генератора 100 гц, что соответствовало $\delta = 0^\circ$, при большом отступлении от нормального режима и $\Delta i = 0$. В итоге измерения 90 пар контактов получилось

$$\tau = 0,169 \pm 0,002 \text{ сек.}$$

После приведения к $\delta = 75^\circ$ и учета поправок за мерт- вый ход и ширину контакта, имеем

$$\tau_0 = 0,180 \pm 0,002 \text{ сек.}$$

Приведение к $\delta = 75^\circ$ производилось с диаметром изображения звезды $S = 1,4$ сек.

$$\theta = \frac{1}{2} (\theta_1 + \theta_2) = 0,183 \pm 0,003 \text{ сек}$$

вполне соответствует выводам К.А.Штефна и Л.Ф.Розе.

2. $\Delta i = 0$, нормальный режим. Чтобы уменьшить влияние не- точности определения θ_1 и θ_2 и поправок за скорость, эксперимент был повторен 26 X при значениях $\theta_2 = 0,200$, $\theta_1 = 0,101$ и частоте генератора 30 гц, что соответст- вовало $\delta = 70^\circ$. В итоге измерения 70 пар контактов по- лучилось

$$\tau_0 = 0,156 \pm 0,004 \text{ сек.}$$

τ измерялось также при частоте генератора 100 гц и по измерениям 150 пар контактов получилось

$$\tau = 0,144 \pm 0,002 \text{ сек.},$$

что после приведения к $\delta = 75^\circ$, дало

$$\tau_0 = \frac{1}{2} (\theta_1 + \theta_2) = 0,002 \pm 0,005 \text{ сек.}$$

3. $\Delta i \neq 0$, нормальный режим. 15 1 1967 года были

проведены эксперименты с $\Delta t \neq 0$, т.е. $\frac{\Delta t}{a_0} = 0,5$, что соответствовало точности регулировки Δt в 1964 году для звезд 5 величины. При $\theta_2 = 0,200$, $\theta_1 = 0,101$ и $\delta = 70^\circ$ было получено

$$\sigma_0 = 0,150 \pm 0,003 \text{ сек} \quad \Pi$$

Таким образом, нам удалось при помощи искусственной звезды установить, что теория разработанная К.А.Штейнсом и Л.Ф.Розе правильна, и подтвердить реальность мысли Л.Ф.Розе, что астрономические наблюдения определения точного времени ЛГУ АО в 1964 году имели добавочный разброс в $\pm 0,005$ /сек/ из-за неправильной регулировки Δt .

§ 5. Регулировка наклона щелей визирной решетки при помощи искусственной звезды

Если изображение звезды при обеих положениях пассажного инструмента /W и 0/ следует по тому же пути визирной решетки, то влияние наклона щелей на регистрацию моментов прохождения полностью исключается.

К сожалению, это условие не всегда может быть соблюдено: неточное наведение искателя на звезду, гнутые главной трубы в отношении к искателю и, наконец, кривизна параллели звезды могут его нарушить. Точность наведения искателя на звезду зависит от точности совмещения плоскости нитей искателя с изображением звезды. В связи с этим ошибка наклона щелей визирной решетки может иметь систематический характер и зависеть от наблюдателя.

Обычно установление щелей перпендикулярно к пути звезды происходит при помощи двух операций. Во-первых устанавливается темный экран перпендикулярно к направлению щелей. Во-вторых, добиваются, чтобы экваториальные звезды перемещались параллельно темному экрану. Особенно трудно осуществить первую операцию, т.к. длина эк-

рана и длина щелей порядка 5 мм. В связи с этим мы предлагаем использовать искусственную звезду для правильной установки щелей. Для этого следует прецизионный винт искусственной звезды установить горизонтально. При помощи уровня это не представляет ни каких трудностей, т.к.требуемая точность небольшая т.е. $\pm 10'$. Изображение источника света по визирной решетке перемещается туда и обратно по одному и тому же пути, следовательно, запаздывание фотоэлектрической установки не зависит от наклона щелей. Если же в точке изменения направления источника света сместим его вдоль вертикали, то в случае наклона щелей, запаздывание τ изменится. Легко сообразить, что поправка к запаздыванию /рис.4/

$$\Delta \tau = \frac{1}{2} h \operatorname{tg} \alpha, \quad (25)$$

где h - расстояние между путями изображения источника

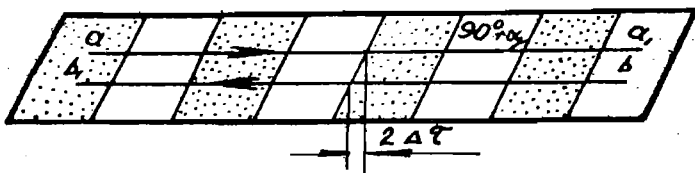


Рис. 4

света при прямом и обратном путях. При изменении направления поправка к запаздыванию меняет знак. В нашем случае максимальное значение для h равно 5 сек при ошибке в $\Delta \tau$ порядка 0,005 сек. Следовательно решетку можно установить без труда с точностью до $\pm 5'$.

Л и т е р а т у р а

1. К. А. Цирулис. Уч.звп. Латв. Госунив. том 68, 5, 1964.
2. К. А. Штейнс и И. К. Рунгайне, наст. сб. стр. 131.
3. К. А. Штейнс, К. А. Цирулис и Э. Я. Каупуша, наст. сб. стр. 49.
4. К. А. Штейнс и Л. Ф. Розе, Уч.звп. Латв. Госунив. том 68, 7, 1964.
5. Л. Ф. Розе, наст. сб. стр. 38.

К о р в а в и л к u m s

К. Штейнс un E. Каупуша

PAR DAŽĀM LVU ASTRONOMISKĀS OBSERVATORIJAS
FOTOELEKTRISKĀS IEKARTAS KĻŪDĀM

Konstatētas un izpētītas sekojošas LVU AO fotoelektriskās iekārtas kļūdas 1. liekie signāli, 2. 50 hz svārstības 3. kļūda, kas ceļas divu dažādu laika konstantu gadījumā no fotopavairotāju spriegumu nepareizas regulēšanas. Kļūdu konstatēšanai izmantoti oscillogrāfi un iekārta "maksīgā zvaigzne".

S u m m a r y

K. Š t e i n s and E. K a u p u š a

ABOUT SOME ERRORS OF THE PHOTOELECTRIC DEVICE OF THE
ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF THE LATVIAN UNIVERSITY

The following errors of the photoelectric device have been found and investigated by means of oscillographs and the artificial star equipment 1. (false signals, 2. 50 cps oscillations (from alternating current), 3. error from different time constants due to poor regulation of voltage of photomultipliers.

К.А. Штейнс и Э.Я. Каупуша

ОБ ОСНОВНЫХ ВОПРОСАХ ТЕОРИИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ ФОТО-
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕГИСТРАЦИЙ ПРОХОЖДЕНИЯ ЗВЕЗД

§ 1. Основы теории запаздыва-
ния фотоэлектрических
регистраций прохождения
звезд

Регистрация моментов прохождения звезд происходит при определенном уровне фототока в контуре входа. По полученным моментам следует определить моменты прохождения звезд через определенные места визирной решетки, например, надо найти моменты, когда центр изображения звезды находится на краях щелей. Соответствующие поправки к зарегистрированным моментам называются запаздыванием.

Фототок входного контура определяется мгновенным фототоком, который возникает при появлении звезды и постоянной входа лампы-электрометра. И так определение запаздывания сводится к двум задачам: 1. определение мгновенного фототока, 2. определение постоянной входа контура лампы-электрометра, которая обычно -венно определяется из наблюдений прямоугольных сигналов. Мгновенный фототок возникает тогда, когда изображение звезды проходит через взаимно параллельные щели равной ширины, которые расположены на равных расстояниях, и свет попадает на фотоумножители. Изображение звезды можно себе представить как дифракционное явле-

ние Фраунгофера на круглом отверстии различных длин сферических волн с соответствующими поправками за абберрацию. С большой точностью можно считать, что изображение звезды является центрально симметрическим, и очевидно, что интенсивность в центре является наибольшей и быстро падает при удалении от центра. Начиная с момента, когда изображение звезды полностью нашло на визирную решетку, кривая мгновенного фототока представляется периодической функцией. Очевидно, что распределение интенсивности света в зрачке зависит от расстояния визирной решетки до объектива и вида его хроматической кривой, которая лимитирует размеры интегрального зрачка, т.е. изображения звезды. Так как фотоумножители, на которых происходит превращение световой энергии в электрическую, по-разному чувствительны к световым волнам различных длин, то при определении западывания нас интересует распределение относительной/к фотоумножителю/интегральной интенсивности света в зрачке. Распределение относительной интенсивности света в зрачке и вместе с тем мгновенный фототок в контуре входа зависит от многих факторов, а именно: от 1/спектрального класса звезды, 2/ селективной прозрачности атмосферы, 3/вторичного спектра и абберраций объектива, 4/селективной чувствительности фотоумножителей, 5/дрожания атмосферы. Учесть все упомянутые факторы затруднительно, и поэтому строятся полуэмпирические теории западывания, где относительно мгновенного фототока делаются некоторые гипотетические предположения. Так, Н. Н. Павловым предложена теория западывания, где предполагается, что кривая мгновенного фототока имеет трапецевидную форму с синусоидальными сторонами. Эта теория дает очень хорошие результаты и требует определения только одного эмпирического параметра т.н. диаметра изображения звезды. Чтобы сделать свою теорию более гибкой, Н. Н. Павлов рекомендует определить несколько раз в году для каждой звезды диаметр изображения звезды при разных температурах, т.е. при разных положениях визирной решетки, и таким образом найти температурный

коэффициент принятого диаметра изображения. В отличие от полуэмпирических теорий запаздывания мы сделаем попытку построить теорию, где в той или иной мере учитываются все основные факторы, определяющие запаздывания и сравнить ее с запаздыванием, полученным из наблюдений за искусственной звездой.

§ 2. Суммарный относительный фотоэлектрический эффект хроматических кружков

Вычислим суммарный относительный фотоэлектрический эффект хроматических кружков на различных расстояниях от центра изображения звезды в зависимости от ее спектрального класса и положения зеркальной решетки. Вычисления будем проводить в основном аналогично тому, как это сделано у Д. Д. Максудова [1] для относительного фотографического эффекта в хроматических кружках.

Во-первых, определим фотоэлектрический эффект \mathcal{E}_f для монохроматических волн на единицу длины волны для излучения абсолютно черных тел с температурами $T = 2800^\circ$, 3000° , 6400° , 12000° и 24000° . Излучение с $T = 2800^\circ$ соответствует искусственной звезде. Поправки за излучения вольфрама не вводятся, т.к. нить лампочки спираль и излучения рассматриваются в узкой зоне частот. Учитывается также пропускание линз, пропускание призмы, т.е. бесконечно тонких линз, и пропускание стекла толщиной в 1 см /флинт/ и 5 см /крон/. Для поглощения в атмосфере используем те же данные, как у Д. Д. Максудова. Данные о чувствительности ФЭУ - 20 взяты из справочника. В таблице 1 даны результаты вычислений.

Рассматривая таблицу 1, приходим к следующим заключениям: а) Относительный фотоэлектрический эффект быстро уменьшается при $0,60 \mu$, т.е. с возрастанием длины волны чувствительность ФЭУ - 20 при $0,60 \mu$ быстро уменьшается до нуля /при $\lambda = 0,615$ чувствительность ФЭУ - 20 равна нулю/. Учитывая это, можно прийти к заключению, что если установить визирную решетку посередине

между вершиной хроматической кривой и фокусом крайней области спектра, оказывающей эффективное действие на фотоэлемент ФЭУ-20, то для всех классов звезд и лампочки накаливания размеры изображения звезд будут примерно одинаковы и равны 0,1 мм. Действительно максимальное

Т а б л и ц а № 1

λ	T= 2800° \mathcal{E}_Φ	T= 3000° \mathcal{E}_Φ	T= 6400° \mathcal{E}_Φ	T= 12000° \mathcal{E}_Φ	T= 24000° \mathcal{E}_Φ
0,30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,31	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,32	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,33	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,34	0,002	0,001	0,008	0,017	0,022
0,35	0,014	0,006	0,048	0,093	0,111
0,36	0,038	0,020	0,122	0,220	0,253
0,37	0,080	0,042	0,215	0,360	0,398
0,38	0,135	0,076	0,322	0,501	0,535
0,39	0,205	0,122	0,437	0,637	0,658
0,40	0,281	0,241	0,731	1,000	1,000
0,42	0,415	0,356	0,800	0,973	0,917
0,44	0,536	0,520	0,888	0,971	0,870
0,46	0,714	0,750	1,000	0,994	0,849
0,48	0,885	0,908	0,963	0,877	0,720
0,50	1,000	1,000	0,862	0,724	0,571
0,55	0,974	0,918	0,501	0,355	0,257
0,60	0,334	0,302	0,113	0,070	0,047

расстояние между фокусом, соответствующим вершине хроматической кривой, и фокусом крайней области спектра для объектива $f = 1000$ мм примерно равно 2 мм, что для $\alpha: f = 0,1$ дает 0,1 мм. б/ В излучении звезд любого спектрального класса и даже лампочки накаливания пред-

ставлены в достаточной мере короткие волны, однако визуальный объектив достаточно эффективно пропускает только лучи до $0,440 \mu$.

Чтобы облегчить и уточнить подсчеты, представим значения \mathcal{E}_Φ данные в таблице 1 двумя функциями, вида

$$\mathcal{E}_\Phi = a + b\lambda + c\lambda^2, \quad (1)$$

где a, b, c - суть некоторые функции спектральной чувствительности ФДУ-20, абсорбции атмосферы и линз и температуры T излучающего абсолютно черного тела. Значения коэффициентов a, b, c для $0,434 \leq \lambda \leq 0,520$ и a', b', c' - для $0,520 \leq \lambda \leq 0,615$ даны в табл. 2.

Т а б л и ц а № 2

	$T = 2800^\circ$	$T = 3000^\circ$	$T = 6400^\circ$	$T = 12000^\circ$	$T = 24000^\circ$
a	-9,342	-22,412	-32,346	-26,388	-18,727
b	+35,409	+90,955	+142,409	120,545	+88,136
c	-29,448	-88,265	-151,984	-132,639	-99,078
a'	-32,980	-27,963	+2,990	+9,120	+9,540
b'	+130,128	112,000	-1,564	-25,333	-28,513
c'	-124,341	-108,153	-5,387	+17,083	+21,154

Точность представления \mathcal{E}_Φ квадратичным полиномом достаточно большая. Отклонения значений, полученных по формуле (1), от значений табл. 1 имеются только в точке $\lambda = 0,480$ и равны $-0,016 / T=2800^\circ$, $0,000 / T=3000^\circ$, $+0,037 / T=12000^\circ$, $+0,030 / T=24000^\circ$, т.е. не превышают 4% в этой точке. Мы считаем представление \mathcal{E}_Φ квадратичным полиномом достаточно точным, т.к. при составлении таблицы 1 мы пользовались приближенными средними данными о спектральной чувствительности ФДУ-20 и приближенно учли поглощение света атмосферой, которое сильно зависит от метеорологических факторов и светного

расстояния звезды. Кроме того, звезды и искусственная звезда только приблизительно излучают, как абсолютно черное тело. Перейдем теперь к вычислению профиля относительного суммарного фотоэлектрического эффекта для кружков рассеивания звезд D .

Для этого, во-первых, представим хроматическую кривую визуального объектива аналитически. Мы получили следующее уравнение

$$\begin{aligned} \tau &= -0,56 + 80(\lambda - 0,565)^2 & \text{для } 0,520 \leq \lambda \leq 0,630, \\ \tau &= -0,43 + 260(\lambda - 0,528)^2 & \text{для } 0,434 \leq \lambda \leq 0,520. \end{aligned} \quad (2)$$

Формула (2) представляет значения координат фокусов в мм как функцию от λ в μ для объектива $f = 1000$ мм с точностью до $\pm 0,01$ мм.

Вычисления сделаны для следующих положений визирной решетки: а/После установки визирной решетки в визуальном фокусе окулярный тубус выдвигается на 1,0 мм, т.е. визирная решетка устанавливается на

$$\lambda_0 = 0,470 \mu \quad \text{или же} \quad \tau_0 = 0,44;$$

б/После установки визирной решетки в визуальном фокусе тубус выдвигается на 0,8 мм, т.е. визирная решетка устанавливается на

$$\lambda_0 = 0,477 \mu \quad \text{или же} \quad \tau_0 = 0,25;$$

в/После установки визирной решетки в визуальном фокусе окулярный тубус выдвигается на 1,2 мм, т.е. визирная решетка устанавливается на

$$\lambda_0 = 0,464 \mu \quad \text{или же} \quad \tau_0 = 0,63.$$

Сливание обеих формул с коэффициентами a, b, c и a', b', c' осуществилось при $\lambda = 0,513$, т.е. $\tau_0 = -0,37$ по формуле для интервала $0,520 \leq \lambda \leq 0,434$, или при $\tau_0 = -0,35$ по формуле для $0,520 \leq \lambda \leq 0,630$ /имеется несогласие $\pm 0,01$ мм/. Вычисления производились для следующих точек $\lambda = 0,615; 0,565; 0,513; 0,495; 0,486; 0,477; 0,470; 0,464; 0,458; 0,453; 0,448; 0,443; 0,439; 0,434$, т.е. через $0,01$ мм фокусного расстояния или то же самое, что для $0,01$ мм, считая от центра звезды.

В § 1 мы отметили, что изображение звезды можно себе представить как дифракционное явление Фраунгофера на круглом отверстии различных длин сферических волн, с соответствующими поправками за абберацию. К сожалению, такое представление даже на быстродействующих электронно-вычислительных машинах требует чрезвычайно большого времени. Поэтому для определения суммарного эффекта применяют приближенные формулы. Часто считают, что хроматические кружки рассеяния для каждого цвета равномерно засвечены. В действительности же по мере роста дефокусировки в дифракционном изображении, начинает падать яркость центрального максимума, тогда как кольца постепенно перемещаются, увеличивая свой диаметр, и приобретают большую яркость. В нашем случае, когда диаметр кружка достигает 0,044 мм, центральный максимум обращается в нуль. Диаметр дифракционного кружка, т.е. диаметр первого темного кольца, в нашем случае /АПМ-10/, равен примерно 0,012 мм. В условиях рода Риги вследствие большой турбуленции воздуха диаметр дифракционного диска будет несколько больше; его также увеличивает сферическая абберация. Мы считали, что хроматические кружки рассеивания засвечены равномерно по формуле

$$\frac{4 \text{ Э}_\phi d \lambda}{\pi [0,1|\Delta| + 0,022]^2},$$

где Δ — величина дефокусировки в мм. Таким образом, для длины волны, в фокусе которой помещена визирная решетка, диаметр изображения принят 0,022 мм, т.е. вполне удовлетворительно согласуется с теорией дифракции, а с другой стороны, значение 0,022 дает наилучшее согласие в среднем для изменения интенсивности в центре дифракционного диска с перемещением плоскости фокусировки.

Суммарный фотоэлектрический эффект определялся по формуле

Т а б л и ц а № 3

	T	nΔ	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
			D_n	$\lambda_0 = 0,477$	2800	1,000	0,568	0,420	0,289	0,023	0,015
		3000	1,000	0,552	0,400	0,271	0,021	0,014	0,009	0,006	0,004
		6400	1,000	0,485	0,316	0,193	0,038	0,026	0,018	0,013	0,008
		12000	1,000	0,469	0,297	0,177	0,046	0,032	0,023	0,017	0,012
		24000	1,000	0,463	0,290	0,172	0,051	0,036	0,026	0,020	0,013
D_n	$\lambda_0 = 0,470$	2500	1,000	0,584	0,413	0,328	0,235	0,015	0,011	0,007	0,000
		3000	1,000	0,569	0,394	0,308	0,218	0,013	0,009	0,005	0,000
		6400	1,000	0,506	0,311	0,222	0,142	0,025	0,018	0,012	0,000
		12000	1,000	0,492	0,293	0,203	0,127	0,031	0,023	0,015	0,000
		24000	1,000	0,487	0,286	0,196	0,123	0,035	0,025	0,017	0,000
D_n	$\lambda_0 = 0,464$	2800	1,000	0,577	0,423	0,328	0,269	0,199	0,010	0,000	0,000
		3000	1,000	0,564	0,405	0,309	0,250	0,182	0,008	0,000	0,000
		6400	1,000	0,502	0,326	0,223	0,164	0,108	0,016	0,000	0,000
		12000	1,000	0,488	0,308	0,205	0,146	0,095	0,020	0,000	0,000
		24000	1,000	0,484	0,302	0,198	0,139	0,093	0,023	0,000	0,000

$$D = c \left[\left| \int_{\lambda_0}^{\lambda_1} \frac{\partial \Phi d\lambda}{(0,22 + |\tau - \tau_0|)^2} \right| + \left| \int_{\lambda_0}^{\lambda_2} \frac{\partial \Phi d\lambda}{(0,22 + |\tau - \tau_0|)^2} \right| \right], \quad (3)$$

где c - произвольная постоянная, а λ_1 и λ_2 соответствуют расстояниям от центра $\tau_c = 0,01 \text{ км}$ ($\kappa = 1 \dots 8$). Результаты вычислений, полученные на БЭСМ-2 даны в таблице 3.

Рассматривая таблицу 3, убеждаемся, что распределение интенсивности света в изображении звезды очень сильно зависит как от изменения положения визирной решетки, так и от спектрального класса звезды.

§ 3. Определение мгновенного фототока

Сила мгновенного фототока i_Φ пропорциональна световому потоку падающему на фотоэлемент, т.е.

$$i_\Phi = c \int D d\omega, \quad (4)$$

где интегрирование производится по той площади изображения звезды, которая находится на щели визирной решетки, а c - некоторая постоянная.

D у нас определены для значений

$$\tau_n = n \Delta, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

где τ_n - расстояние от центра звезды. Предположим, что D в интервале 2Δ можно представить квадратичным полиномом, т.е.

$$D_n = K_0^{(n)} + K_1^{(n)} \tau_n + K_2^{(n)} \tau_n^2, \quad (6)$$

и из уравнений

$$\begin{aligned} D_n &= K_0^{(n)} + K_1^{(n)} n \Delta + K_2^{(n)} n^2 \Delta^2; \\ D_{n+1} &= K_0^{(n)} + K_1^{(n)} (n+1) \Delta + K_2^{(n)} (n+1)^2 \Delta^2; \\ D_{n+2} &= K_0^{(n)} + K_1^{(n)} (n+2) \Delta + K_2^{(n)} (n+2)^2 \Delta^2 \end{aligned} \quad (7)$$

определим коэффициенты

$$\begin{aligned} \kappa_0^{(n)} &= \frac{1}{2} [(n+1)(n+2)D_n - 2n(n+2)D_{n+1} + (n+1)nD_{n+2}], \\ \kappa_1^{(n)} &= \frac{1}{2\Delta} [-(2n+3)D_n + 4(n+1)D_{n+1} - (2n+1)D_{n+2}], \\ \kappa_2^{(n)} &= \frac{1}{2\Delta^2} [D_n - 2D_{n+1} + D_{n+2}]. \end{aligned}$$

Для определения приращения фототока $\Delta i_\Phi^{(n)}(n-i)$ при перемещении звезд имеем

$$\begin{aligned} \Delta i_\Phi^{(n)}(n-i) &= 2c \int_{(n-i)\Delta}^{(n+1-i)\Delta} dx \int \frac{\sqrt{(n+2)^2\Delta^2 - x^2}}{\sqrt{n^2\Delta^2 - x^2}} [\kappa_0^{(n)} + \\ &+ \kappa_1^{(n)}\sqrt{x^2 + y^2} + \kappa_2^{(n)}(x^2 + y^2)] dy, \end{aligned} \quad (9)$$

где $x \in [(n-i)\Delta, (n+1-i)\Delta]$, что соответствует пределам перемещения края щели. При помощи подстановки

$$\frac{x}{\Delta} = \xi, \quad \frac{y}{\Delta} = \eta$$

легко убеждаемся, что $\Delta i_\Phi^{(n)}(n-i)$ не зависит от того, в каких единицах Δ выражено, т.е. Δ можно объединить с постоянной c . Если в формуле (9) произвести интегрирование и подставить для $\kappa_0^{(n)}$, $\kappa_1^{(n)}$, $\kappa_2^{(n)}$ их значения (8), то получим, что $\Delta i_\Phi^{(n)}(n-i)$ и, следовательно, $i_\Phi^{(n)}(n-i)$ в данном интервале $[n-i, n+1-i]$ является линейной функцией вычисленных значений D_n с численными коэффициентами. Результаты этих довольно сложных вычислений даны в таблице 4.

Если изображение звезды полностью помещается на щель, то при прохождении звезды через край

Т а б л и ц а № 4

	коэф. при D_0	коэф. при D_1	коэф. при D_2	коэф. при D_3	коэф. при D_4	коэф. при D_5	коэф. при D_6	коэф. при D_7	коэф. при D_8
1	0	0	0	0	0	0	-0.0881	0.5894	0.5450
2	0	0	0	0	0	0	+0.1438	1.9700	0.7869
3	0	0	0	0	-0.0756	0.5050	0.9469	2.8831	0.9594
4	0	0	0	0	+0.1125	1.6825	1.3594	3.5862	1.1200
5	0	0	-0.0612	0.4044	0.7725	2.4662	1.6800	4.2050	1.2681
6	0	0	+0.0750	1.3256	1.1262	3.0869	1.9744	4.7750	1.4094
7	-0.0406	0.2662	0.5475	1.9662	1.4094	3.6494	2.2494	5.3206	1.5456
8	+0.0006	0.8362	0.8394	2.5125	1.6728	4.1850	2.5156	5.8594	1.6775

$$(i_{\Phi}^{(i)}) = (K_{ij})(D_j), \quad (11)$$

где (K_{ij}) - квадратичная матрица коэффициентов, элементы которой даны в таб. 4 (D_j) - матрица столбик со значениями D_j для равно отстоящих точек, $(i_{\Phi}^{(i)})$ - матрица столбик со значениями мгновенного фототока для соответствующих точек с точностью до постоянного множителя.

Для контроля K_{ij} можно использовать следующие формулы

$$\int_0^R \int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} dx dy = \frac{\pi R^2}{4}, \quad (12)$$

$$\int_0^R \int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} \sqrt{x^2+y^2} dx dy = \frac{\pi R^3}{6}, \quad (13)$$

$$\int_0^R \int_0^{\sqrt{R^2-x^2}} (x^2+y^2) dx dy = \frac{\pi R^4}{8}. \quad (14)$$

в нашем случае имеются два фотоумножителя, один для прямого, другой для отраженного изображения и только 6 первых точек помещаются на щели, следовательно

$$(i_{\Phi}^{(i)}) = \begin{pmatrix} K_{8j} - 2K_{5j} \\ K_{8j} - K_{2j} - K_{4j} \\ K_{8j} - K_{1j} - K_{5j} \\ K_{8j} - K_{0j} \\ K_{8j} - K_{7j} \\ 0 \end{pmatrix} (D_j); \quad (15)$$

(6) i_{Φ} соответствует положению, когда центр изображения находится на краю щели. Результаты вычислений по формуле (15) даны в таблице 5.

Для дальнейшего целесообразно представить D первыми членами ряда Фурье. Если изображение звезды является

Таблица № 5

	λ_0	T	1	2	3	4	5	6
i_{Φ}^i	$\lambda_0 = 0,477$	2800°	1.6498	1.6391	1.5269	1.1829	0.6666	0
		3000°	1.5669	1.5563	1.4510	1.1290	0.6400	0
		6400°	1.3189	1.3012	1.2061	0.9523	0.5523	0
		12000°	1.2856	1.2646	1.1678	0.9245	0.5383	0
		24000°	1.2859	1.2627	1.1632	0.9205	0.5362	0
i_{Φ}^i	$\lambda_0 = 0,470$	2800°	2.1449	2.0786	1.8087	1.3533	0.7519	0
		3000°	2.0272	1.9656	1.7141	1.2882	0.7196	0
		6400°	1.5941	1.5494	1.3729	1.0536	0.6046	0
		12000°	1.5145	1.4723	1.3094	1.0099	0.5831	0
		24000°	1.4937	1.4511	1.2914	0.9974	0.5770	0
i_{Φ}^i	$\lambda_0 = 0,464$	2800°	2.7926	2.5917	2.1506	1.5693	0.8545	0
		3000°	2.6289	2.4437	2.0351	1.4909	0.8157	0
		6400°	1.9073	1.7976	1.5331	1.1521	0.6506	0
		12000°	1.7635	1.6689	1.4318	1.0832	0.6168	0
		24000°	1.7202	1.6300	1.4018	1.0626	0.6068	0

центрально симметрическим, то кривая мгновенного фототока после того как изображение вошло полностью на виртуальную решетку является периодической, а при равных и противоположных расстояниях центра изображения от цели, мгновенный фототок имеет противоположные значения. Учитывая сказанное, приходим к заключению, что разложение имеет только нечетные гармоники с функциями синусов. Коэффициенты Фурье b_i даны в таб. 6.

§ 4. Определение фототока контура входа

Согласно Н.Н.Павлову, ток через омическое сопротивление входа i_q определяется следующей формулой [2]

$$i_q = \frac{1}{\Theta} e^{-\frac{t}{\Theta}} \int e^{\frac{t}{\Theta}} i_{\Phi} dt + c e^{-\frac{t}{\Theta}}, \quad (16)$$

где Θ - постоянная времени входа усилителя, t - время, c - постоянная интегрирования, i_{Φ} - мгновенный фототок.

В нашем случае

$$i_{\Phi} = \sum_i b_i \sin \frac{2\pi i t}{T_0 \sec \delta}, \quad (17)$$

при этом i принимает только нечетные значения. После интегрирования получаем

$$i_q = a \sum \frac{b_i}{\alpha^2 + 4\pi^2 i^2} \left[\alpha \sin \frac{2\pi i t}{T_0 \sec \delta} - 2\pi i \cos \frac{2\pi i t}{T_0 \sec \delta} \right] + c e^{-\frac{t}{\Theta}}, \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{T_0 \sec \delta}{\Theta}$$

При начальных условиях $t=0, i_{\Phi}=0$ имеем $c = i_q(0) + a \sum \frac{2\pi i b_i}{\alpha^2 + 4\pi^2 i^2}$, что, вообще говоря, является небольшой величиной, и, следовательно, при значениях t в несколько раз больше Θ последний член практически равен 0.

Запаздывание в нормальном режиме τ_0 т.е. при $i_q = 0$,

Т а б л и ц а № 6

λ_0	T	b_1	b_2	b_3	b_7	b_9
$\lambda_0 = 0.477$	2800°	1.8078	0.1390	-0.0137	0.0097	0.0045
	3000°	1.7197	0.1365	-0.0110	0.0096	0.0044
	6400°	1.4413	0.1204	0.0023	0.0077	0.0034
	12000°	1.4000	0.1158	0.0053	0.0070	0.0031
	24000°	1.3967	0.1134	0.0064	0.0068	0.0031
$\lambda_0 = 0.470$	2800°	2.2163	0.0642	0.0063	0.0116	-0.0018
	3000°	2.0997	0.0672	0.0076	0.0114	-0.0015
	6400°	1.6750	0.0831	0.0115	0.0100	0.0007
	12000°	1.5963	0.0857	0.0124	0.0096	0.0012
	24000°	1.5745	0.0859	0.0130	0.0094	0.0014
$\lambda_0 = 0.464$	2800°	2.7148	-0.0229	0.0401	-0.0034	0.0054
	3000°	2.5755	-0.0173	0.0384	-0.0025	0.0051
	6400°	1.9127	0.0345	0.0285	0.0030	0.0033
	12000°	1.7819	0.0436	0.0267	0.0042	0.0027
	24000°	1.7426	0.0466	0.0260	0.0046	0.0028

определяется как разность Δt от моментов $t = \kappa T_0 \sec \delta$, где κ целые числа, до t , которые соответствуют $i q = 0$. Следовательно, τ_0 определяется из уравнения

$$0 = \sum_i \frac{b_i}{\alpha^2 + 4\kappa^2 i^2} \left[\alpha \sin \frac{2\pi i \tau_0}{T_0 \sec \delta} - 2\kappa i \cos \frac{2\pi i \tau_0}{T_0 \sec \delta} \right]. \quad (19)$$

Так как $b_1 \gg b_i$, где $i = 3, 5, 7, 9$, то уравнение (19) относительно τ_0 можно решить методом последовательных приближений, записывая это следующим образом

$$\alpha \sin \frac{2\pi \tau_0}{T_0 \sec \delta} = 2\kappa \cos \frac{2\pi \tau_0}{T_0 \sec \delta} - \quad (20)$$

$$- \frac{\alpha^2 + 4\kappa^2}{b_1} \sum_{i=3}^9 \frac{b_i}{\alpha^2 + 4\kappa^2 i^2} \left[\alpha \sin \frac{2\pi i \tau_0}{T_0 \sec \delta} - 2\kappa i \cos \frac{2\pi i \tau_0}{T_0 \sec \delta} \right],$$

считая в первом приближении в правой части $\tau_0 = 0$.

Результаты вычислений даны в таблице 7.

§ 5. Определение диаметра изображения звезды для обработки наблюдений 1964 - 1967 гг.

Для сравнения развитой нами теории с теорией, развитой Н.Н. Павловым [2], будут необходимы значения диаметра изображения звезд. К сожалению, в АО ЛГУ определением диаметров изображения звезд не занимались, за исключением определения диаметра звезды КГЗ 177 / $\delta = 45^\circ$, $m = 5.0$ /, т.к. считали эту операцию сложной и не вполне надежной. Для звезды фототок входного контура был записан на восьмишлейфовом осциллографе. Так как имелось подозрение, что масштаб оси силы тока после усиления исказился, то на пленке восьмишлейфового осциллографа были записаны прямоугольные сигналы той же самой интенсивности. Установлено согласно теории, что сигналы

τ_0 в миллисекундах

Т а б л и ц а № 7

λ_0	Т	$\theta = 0,1$			$\theta = 0,15$			$\theta = 0,20$		
		0	57	70	0	57	70	0	57	70
$\lambda_0 = 0,477$	2800°	096	099	099	141	146	148	182	192	196
	3000°	096	098	099	141	146	148	182	191	196
	6400°	096	098	099	140	145	147	181	191	195
	12000°	096	098	099	140	145	147	180	191	195
	24000°	096	098	099	140	145	147	180	191	195
$\lambda_0 = 0,470$	2800°	097	099	099	142	147	148	185	193	197
	3000°	097	099	099	142	147	148	184	193	197
	6400°	096	098	099	141	146	148	182	192	195
	12000°	096	098	099	140	145	148	182	191	195
	24000°	096	098	099	140	145	148	182	191	195
$\lambda_0 = 0,464$	2800°	098	099	099	144	147	148	187	194	197
	3000°	097	099	099	143	147	148	186	194	197
	6400°	097	098	099	142	147	148	184	192	196
	12000°	096	098	099	141	146	148	184	192	196
	24000°	096	098	099	141	146	148	183	192	195

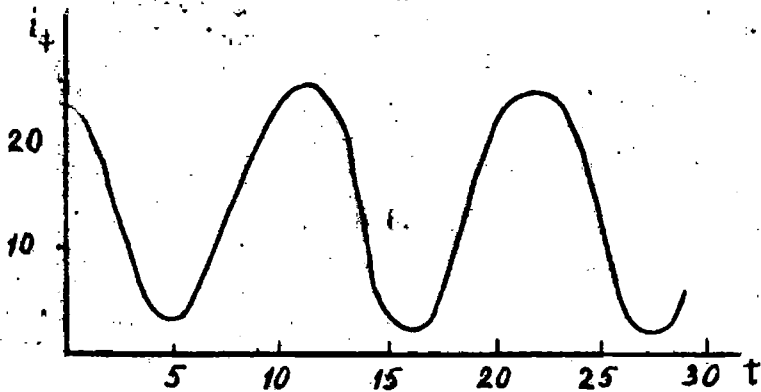


Рис. 1

соответствующей интенсивности не искажаются. Нормальные места фототока звезды КГЗ 177 представлены на рис. 1. Были вычислены также теоретические кривые фототока при соответствующих значениях δ , S и T для трех значений диаметра изображения звезды $S = 1,2 ; 1,4 ; 1,6$; соответствующие данные были нанесены на кальку. Совмещением кальки с кривой полученной на основе наблюдений выбиралась кривая, которая дает наилучшее согласие. Выбор наилучшей кривой проделали несколько лиц и все остановились на значений $S = 1,4$ сек. Этим значением диаметра пользовались в 1964 - 1967 годах.

§ 6. Зависимость запаздывания от скорости перемещения звезд

Наиболее распространенной теорией запаздывания фотозлектрических установок является теория, развитая Н. Н. Павловым [3]. В этой теории используются два параметра - постоянная времени контура входа θ и диаметр изображения для экваториальной звезды, по которым легко подсчитать запаздывания τ . Н. Н. Павлов [3] оценивал

величину диаметра изображения звезды в зависимости от ее спектрального типа. Эти изменения могут достигать 20%, причем для горячих белых звезд изображения будут больше, чем для красных. Н.Н.Павлов считает, что для визуального объектива имеет смысл увеличить диаметр до 2,4 сек.; в этом случае получается выигрыш в количестве собираемого света и практически уничтожается зависимость диаметра изображения от спектрального типа. Н.Н.Павлов отмечает, что более неприятной причиной изменения диаметра может быть изменение фокусировки пассажного инструмента, связанное с изменением температуры. Для пассажного инструмента с фокусным расстоянием 1000 мм /что соответствует подсчетам § 2 - 4 и АПМ-10/ и диаметром звезды, равным 0,08 мм, по оценкам Н.Н.Павлова, изменение диаметра составляет 50% при изменении температуры на 40°С. При $\theta = 0,191$ сек для звезд этого класса это дает для запаздывания поправку 0,002 сек.

Однако согласно данным § 4 мы приходим к несколько другим заключениям, а именно: 1/ При $\theta = 0,200$, $\delta = 57^\circ$ запаздывание t для звезд разного спектрального класса в крайнем случае отличается на $\pm 0,001$ сек, т.е. запаздывание практически не зависит от спектрального типа звезд. 2/ При $\theta = 0,200$, $\delta = 57^\circ$ запаздывание t при разных положениях визирной решетки /отличие на 0,4мм/ одинаковы. Если наши подсчеты реальны, то это означает что в теории Н.Н.Павлова "диаметр" звезды для случая, для которого проведены подсчеты, не должен зависеть от фокусного расстояния.

Чтобы проверить правильность подсчетов, были проведены эксперименты с искусственной звездой. В таблице 8 сопоставлены подсчеты § 4, результаты наблюдений и результаты согласно теории Н.Н.Павлова.

Рассматривая таблицу 8, приходим к следующим заключениям: 1/ Подсчеты § 3 достаточно хорошо совпадают с результатами теории Н.Н.Павлова, т.е. максимальные расхождения $\pm 0,002$ сек. 2/ Результаты наблюдений при помощи искусственной звезды имеют слишком малую точ-

ность, чтобы при помощи их уточнить теоретические данные. Это утверждение в первую очередь относится к определению τ , при больших скоростях, где при измеренных

Т а б л и ц а № 8

τ_0 в сек				
δ	Подсчеты § 3 $\lambda_0 = 0,464$	Подсчеты по теории Н.Н. Павлова $s = 1,4$	Наблюдения искусственной звезды	Число контак- тов
70°	0.197	0.199	0.199+0.001	560
57°	0.194	0.196	0.197+0.002	724
0°	0.187	0.185	0.190+0.004	824

824 контактов, ошибка достигает $\pm 0,004$ сек. Дело в том что в течение небольшого промежутка времени совпадение результатов при $\delta = 0^\circ$ гораздо лучше, чем при $\delta = 70^\circ$ однако через некоторое время, т.е. через час или больше получаются уже другие между собой опять хорошо совпадающие результаты. Очевидно, что при сравнительно больших скоростях, мертвый ход искусственной звезды неустойчив и меняет свое значение. В связи с этим нам также не удалось исследовать зависимость τ_0 от положения вивирной решетки.

§ 7. У р а в н е н и е я р к о с т и

Искусственную звезду успешно можно использовать для исследования уравнения яркости фотоэлектрического пассажного инструмента, понимая под уравнением яркости различие в величине запаздывания фотоэлектрического устройства для ярких и более слабых звезд с одним и тем же наклоном. При исследовании уравнения яркости следует имитировать фототок звезд разной звездной величины. Осуществить это нам представляется возмож-

ным по меньшей мере тремя способами.

Во-первых, имеется возможность менять накал нити лампочки искусственной звезды. Меняя накал нити лампочки, мы меняем температуру нити накала, а это значит, что меняется распределение энергии в зависимости от длины волны. Однако данные § 4 показывают, что соответствующие изменения практически никак не могут повлиять на результаты измерений. Так как этот способ для нас был наиболее удобным, то мы, в основном, уравнение яркости исследовали именно этим способом. Нами было получены следующие данные для скорости источника света соответствующей $\delta = 71^\circ$:

$$t = 0,204 \pm 0,003 \text{ сек} \quad (m = 6,5 \quad n = 118),$$

$$t = 0,202 \pm 0,003 \text{ сек} \quad (m = 5,0 \quad n = 190),$$

$$t = 0,197 \pm 0,002 \text{ сек} \quad (m = 4,0 \quad n = 428),$$

$$t = 0,202 \pm 0,001 \text{ сек} \quad (m = 3,0 \quad n = 874).$$

На основе приведенных данных наблюдений мы можем сделать следующие заключения: 1/ Точность наблюдений небольшая, и уверенных результатов можно добиться только на основе большего числа наблюдений. 2/ Никакого уравнения яркости в пределах точности наблюдений не удалось установить. Если имеется уравнение яркости, то в крайнем случае оно не больше $\pm 0,001$ сек.

Во-вторых, для определения уравнения яркости можно менять отверстие диафрагмы перед источником света. Отверстия диафрагм нами изготовлены в виде окружностей, различные диаметры которых различаются менее, чем на 10μ . Отверстия вырезаны в металлической пластинке. Для исследования существования уравнения яркости, имелись отверстия диафрагмы трех размеров 200, 300 и 350 μ . Искусственная звезда находилась на высоком столбе, и менять диафрагмы было неудобно, так что по этому способу было проведено мало наблюдений.

3/ Наконец, имеется возможность подражать прохождению звезд разной звездной величины через визирную решетку, меняя напряжение на фотоумножителях. По этому

методу было проведено примерно 20% от числа наблюдений первого способа. Соответствующие данные не приводятся, т.к. они менее точны. На основе этих данных можно сделать также заключение, что фотозлектрическая установка АО Латв.гос.унив. не имеет уравнения яркости.

Л и т е р а т у р а

1. Д. Д. М а к с у т о в. Астрономическая оптика. Москва 1946.
2. Н. Н. П а в л о в. Труды ГАО, серия том 59, 1946
3. П. Н. Д о л г о в. Определение времени пассажным инструментом в меридиане. Москва 1952.

K o p s a v i l k u m s

K. Š t e i n s u n E. K a u p u š a

PAR ZVAIGŽŅU CAURIEŠANAS MOMENTU REĪSTREŠANAS FOTO-
ELEKTRISKO IEKĀRTU NOKAVĒŠANAS TEORIJAS PAMATJAUTAJUMIEM

Aprēķinātas fotoelektrisko iekārtu nokavēšanas, ņemot vērā zvaigžņu temperatūras, absorbciju atmosfērā un optiskā atkarībā no viļņa garuma, fotopavairotāja spektrālo jutību objektīva sekundāro spektru, zvaigznes pārvietošanās ātrumu un režģa plates stāvokli. Salīdzinājumā ar datiem, kas iegūti ar iekārtu "mākslīgā zvaigzne", aprēķinātās nokavēšanas uzrāda labu saskatu.

S u m m a r y

K. Š t e i n s a n d E. K a u p u š a

ABOUT THE THEORY OF LAG OF PHOTOELECTRIC DEVICE
FOR REGISTRATION OF STAR TRANSIT

Lag of the photoelectric devices has been calculated, considering the temperatures of stars, the absorption in atmosphere and in optics depending on wave-length, spectral sensibility of photoelectric amplifier, secondary spectrum of the objective, the velocity of the diurnal motion of stars and the position of the grating plate. The calculated results of lag show good agreement with data obtained with the artificial star equipment.

Д. Ф. Р о з е

ВЛИЯНИЕ НАКЛОНА ЦЕЛЕЙ ВИЗИРНОЙ РЕШЕТКИ НА
МОМЕНТ РЕГИСТРАЦИИ ЗВЕЗДНЫХ ПРОХОЖДЕНИЙ

Фотоэлектрическая установка пассажного инструмента АПМ - 10 № 580 003 службы времени Латвийского Государственного университета имеет широкую пластину, на которой нанесена визирная решетка. Установление этой решетки состоит из следующих двух этапов: сперва мы должны перпендикулярно направлению щелей решетки прикрепить горизонтальные направляющие для прикрытия лишней площади решетки и потом по направляющим установить решетку в фокальной плоскости инструмента так, чтобы выполнялось условие $|\beta| < 1/200$ [1], где β - тангенс малого угла отклонения краев щелей от направления меридиана. Оказалось, что это последнее требование, выдвинутое Н.Н.Павловым, является для нашей службы времени весьма трудной, технически не обеспеченной задачей. Не имея специальных приспособлений для юстировки инструмента, мы могли гарантировать тангенс угла наклона $|\beta| < 1/50$.

Это заставило нас провести соответствующую оценку влияния наклона щелей визирной решетки на момент регистрации прохождений звезд, так как при $\beta = 1/50$ согласно анализу, проведенному Н.Н.Павловым, искажения регистрируемых моментов могут быть значительными. В таком случае должны быть приняты строгие меры для исключения соответствующих ошибок в ходе наблюдений или введены соответствующие поправки.

Если бы движение изображения звезды по решетке в первом и втором положении инструмента, т.е. до и пос-

ле перекладки, произошло по одному и тому же пути, то среднее арифметическое всех соответственно попарно зарегистрированных моментов было бы равно моменту прохождения через бесколимационную линию инструмента. Однако вследствие ряда причин пути изображения звезды в фокальной плоскости инструмента, где расположена решетка, в первом и втором положении инструмента не совпадают.

Причины, вызывающие расхождение путей изображения звезды в первом и втором положении инструмента, могут быть разные. Мы рассмотрим здесь влияние следующих причин: гнутые трубы инструмента и искателя, кривизна суточной параллели и наклон горизонтальных нитей искателя.

В фокальной плоскости выделим два взаимно перпендикулярные направления: NS - сечение фокальной плоскости с меридианной плоскостью и OW - горизонтальную прямую, перпендикулярную к NS /рисунок 1/. Допустим, что OW является той линией, которая точно согласована с серединой установочных нитей искателя при условии, что последние расположены строго перпендикулярно меридиану и отсутствуют деформации инструмента. Будем считать, что тангенс малого угла β между направлением щелей решетки и направлением меридиана положительный в том случае, если смещение щелей происходит против направления движения часовой стрелки.

Далее рассмотрим влияние вышеприведенных причин на регистрируемый момент прохождения звезды.

§ 1. Влияние гнутых труб инструмента

Будем анализировать только влияние меридианного компонента гнутых труб и искателя, вследствие чего будут расходиться траектории изображения звезды по решетке в обоих положениях инструмента, если деформации труб и искателя не одинаковы.

Отклонение положения визирной линии пассажного инструмента из-за гнутых труб может оказаться подчиненной

весьма сложному закону, т.к. следует учитывать не только деформацию самой трубы, но также и деформацию горизонтальной оси, призмы и т.п. Поэтому точный учет гнуптия затруднителен. Ограничиваясь общепризнанным предположением, что астрономическое гнуптие является пропорциональным синусу зенитного расстояния наблюдаемой звезды, мы можем описать угловое расхождение виртуальных линий главной трубы и искателя, вызванное различным гнуптием, следующим выражением

$$\Delta z = \gamma \sin z, \quad (1)$$

где γ — коэффициент пропорциональности /выгодно выразить в единицах времени прохождения экваториальной звезды/, z — зенитное расстояние наблюдаемой звезды.

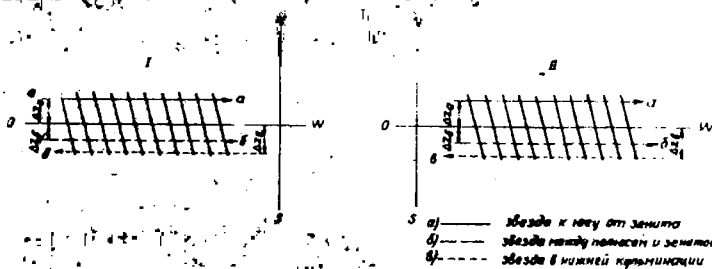


Рис. 1

Рассмотрим сперва случай прохождения звезды через меридиан в верхней кульминации к югу от зенита. В первом положении инструмента после наводки звезды на середние горизонтальных нитей искателя изображение звезды не попадает на OW , а будет отклонено к северу на расстояние Δz , если труба гнется больше, чем искатель /считаем γ положительным/. Это изображено на рисунке 1, случай а / I — первое положение инструмента, II — второе положение/. После перекладки инструмента во второе его положение, когда вместе с верхней частью инструмента решетка перевернута на 180° , изображение звезды опять будет отклонено к северу от

OW на Δz . Средний момент прохождения, также как и регистрация каждого момента прохождения края щели, будет происходить раньше чем при движении по OW , и для исправления его следует вводить поправку

$$\Delta T = b \Delta z \sec \delta, \quad (2)$$

где δ - склонение наблюдаемой звезды.

Зенитное расстояние выразим через

$$z = \varphi - \delta, \quad (3)$$

где φ - широта места наблюдения.

На основании (1), (2) и (3) получим

$$\Delta T = b \gamma \sin(\varphi - \delta) \sec \delta = b \gamma K, \quad (4)$$

$$\text{где } K = \sin(\varphi - \delta) \sec \delta \quad (5)$$

- азимутальный коэффициент формулы Майера.

В случае прохождения звезды через меридиан между полюсом и зенитом изображение звезды при таком же характере гнущия трубы и искателя будет сдвинуто в противоположную сторону от OW , т.е. в сторону юга / рисунок 1, случай б/. Поправка ΔT при положительной b должна быть отрицательной, так как регистрация производится с опозданием. Это будет учтено, если считать зенитное расстояние согласно (3). Для поправки ΔT будет иметь место уравнение (4).

Аналогично можно рассмотреть прохождение звезды в нижней кульминации /рисунок 1, случай в/. В таком случае зенитное расстояние

$$z = 180^\circ - (\varphi + \delta). \quad (3')$$

Для поправочной величины получим

$$\Delta T = b \gamma \sin(\varphi + \delta) \sec \delta = b \gamma K, \quad (4')$$

$$\text{где } K = \sin(\varphi + \delta) \sec \delta. \quad (5')$$

Теперь имеется возможность проанализировать, как на определяемую поправку часов влияет наклон визирной решетки b при наличии относительного гнущия трубы и искателя. Обозначим через T_i средний момент прохождения i -той звезды, искаженный гнущием, и через T_{oi} -

искаженный. Тогда

$$T_{oi} = T_i + \Delta T_i = T_i + \nu \gamma K_i, \quad (6)$$

где K_i - азимутальный коэффициент i -той звезды формулы Майера.

Искомое значение поправки часов получаем путем совместного решения системы уравнений

$$u + \kappa K_i = \alpha_i - T_{oi}, \quad (7)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; n - количество наблюдаемых звезд, u - искомая поправка часов, κ - азимут инструмента, α_i - прямое восхождение звезды.

Так как каждый раз вместо неискаженного значения момента прохождения T_{oi} мы получаем искаженный гнутием T_i , то вместо системы уравнений (7) будем иметь систему

$$u + (\kappa + \nu \gamma) K_i = \alpha_i - T_i \quad (8)$$

с неизвестными u и $\kappa + \nu \gamma$.

Допустим, что корнями системы уравнений (7) являются u_0 и κ_0 . После вычитания из каждого уравнения (8) поправок (4) или (4') системы (7) и (8) становятся тождественными. Очевидно корнями системы (8) являются u_0 и $\kappa_0 + \nu \gamma$. Таким образом значение поправки часов гнутием инструмента не изменяется. Однако вместо истинного значения азимута инструмента κ_0 мы получаем значение $\kappa_0 + \nu \gamma$.

§ 2. Влияние кривизны суточной параллели звезды

Для прототипа рассуждений допустим, что бесколлимационная плоскость инструмента совпадает с меридианной плоскостью. Рассмотрим случай прохождения звезды в верхней кульминации. Допустим, что в первом положении инструмента звезда установлена на OW в точке K_0 , которая находится перед первой целью /рисунок 2/. Расстояние точки K_0 от меридиана, выраженное в единицах прохождения экваториальной звезды, обозначим через f_0 . Вследствие суточного движения звезды по малому кругу,

траектория ее изображения в фокальной плоскости будет отклонена от горизонтальной прямой OW в сторону S .

Рассмотрим прохождение изображения звезды через тот край щели наклоненной решетки, порядковый номер которого j . Введем следующие обозначения: K_j - точка пересечения траектории с краем щели, f_j - ее расстояние от меридиана, выраженное в единицах времени прохождения экваториальной звезды, M_j - проекция точки K_j на

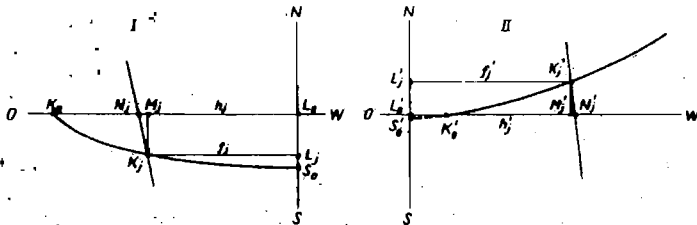


Рис. 2

прямую OW , N_j - точка пересечения края решетки с прямой OW , h_j - расстояние ее от меридиана и c_j - отрезок $K_j M_j$ в единицах прохождения экваториальной звезды.

Во втором положении инструмента после его перекладки все соответствующие буквенные обозначения выразим со штрихами.

Для приведения фактических моментов регистрации времени прохождения края щели в точках K_j и K'_j к условному движению по OW и регистрации в точках N'_j и N_j , будут служить выражения

$$\Delta t_j = - \overline{N_j M_j} \sec \delta = - b c_j \sec \delta, \quad (9)$$

$$\Delta t'_j = + \overline{N'_j M'_j} \sec \delta = + b c'_j \sec \delta, \quad (9')$$

где δ - склонение наблюдаемой звезды.

Из рисунка 2 видно, что

$$c_j = \overline{S_0 L_0} - \overline{S_0 L_j}, \quad c'_j = \overline{S'_0 L'_j} - \overline{S'_0 L_0}. \quad (10)$$

Действия здесь везде производятся с абсолютными

значениями длины отрезков.

Выражения для редукции за кривизну суточной параллели в нашем случае можно написать следующим образом:

$$\bar{S}_0 L_0 = \frac{1}{2\varphi} f_0^2 \operatorname{tg} \delta, \quad \bar{S}_0 L_j = \frac{1}{2\varphi} f_j^2 \operatorname{tg} \delta, \quad (11)$$

где φ — количество секунд времени в радиане.

На основании (10) и (11)

$$c_j = \frac{1}{2\varphi} (f_0^2 - f_j^2) \operatorname{tg} \delta. \quad (12)$$

Аналогично можно получить, что

$$c'_j = \frac{1}{2\varphi} (f_j^2 - f_0^2) \operatorname{tg} \delta. \quad (12')$$

Из рисунка 2 получаем следующие соотношения:

$$f_j = h_j - b c_j, \quad f'_j = h_j + b c_j, \quad h_j = h'_j. \quad (13)$$

Используя (9), (9'), (12), (12') и (13) образуем среднее арифметическое из обеих поправок к моментам прохождения изображения звезды через край j в первом и втором положении инструмента

$$\begin{aligned} \Delta T_j &= \frac{1}{2} (\Delta t_j + \Delta t'_j) = -\frac{b}{4\varphi} (f_0^2 - f_j^2 - f_j'^2 + f_0'^2) \operatorname{tg} \delta \sec \delta = \\ &= -\frac{b}{4\varphi} (f_0^2 + f_0'^2 - 2h_j^2 + D_j) \operatorname{tg} \delta \sec \delta, \end{aligned} \quad (14)$$

где $D_j = 2bh_j(c_j + c'_j) - b^2(c_j^2 + c_j'^2)$.

Поправка к среднему арифметическому из всех зарегистрированных контактов

$$\Delta T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_1^n \Delta T_j = -\frac{b}{4\varphi} (f_0^2 + f_0'^2 - \frac{2}{n} \sum_1^n h_j^2 + \frac{1}{n} \sum_1^n D_j) \operatorname{tg} \delta \sec \delta, \quad (15)$$

где n — количество отметок времени в каждом положении инструмента, т.е. количество краев щелей.

Нами проведена оценка последнего члена в скобках выражения (15) и мы убедились, что при самых неблагоприятных условиях для нашей установки, именно при $b = 0,02$, $\delta = 70^\circ$, $f_0 = 120^s$, $f_0' = 0$, $h_1 = 48^s$ и $h_n = 26^s$ имеет место неравенство

$$\left| \frac{b \operatorname{tg} \delta \operatorname{sec} \delta}{4 \vartheta n} \sum_1^n D_j \right| < 10^{-7} \text{ (сек)}$$

и поэтому практически можно применять следующую формулу :

$$\Delta T_{\text{ср}} = -\frac{b}{4\vartheta} (f_0'^2 + f_0''^2 - \frac{2}{n} \sum_1^n h_j^2) \operatorname{tg} \delta \operatorname{sec} \delta, \quad (16)$$

которую можно считать окончательной поправкой к среднему моменту прохождения звезды. Для определения численной величины этой поправки кроме значения наклона щелей b необходимо знать расстояния от бесколлимационной линии до точек наводки звезды f_0' и f_0'' , расстояние до первого края h_1 и среднее расстояние между краями щелей и промежутков T_2 .

Выражение (16) для редукции за кривизну суточной параллели звезды отличается от выведенного Н.Н. Павловым [1], т.к. последнее предусматривает, что точка установки на звезду после перекладки инструмента и внутренний край визирной решетки совпадают с меридианом.

Учитывая выражение (16), попытаемся искусственно добиться минимального влияния наклона щелей на регистрируемые моменты при прохождении звезды по малому кругу. Оказывается, что имеется возможность наблюдать таким образом, чтобы средний момент прохождения был бы свободен от ошибки, вызванной наклоном щелей. Это будет при условии

$$f_0'^2 + f_0''^2 - \frac{2}{n} \sum_1^n h_j^2 = 0 \quad (17)$$

Мы подсчитали, что для нашей установки со значениями $h_1 = 48^S$ и $T_2 = 1,436$ при 16 отметок моментов времени, условие (17) обеспечено при значениях $f_0' = 53^S$ и $f_0'' = 0$, т.е. в первом положении инструмента наводку звезды следует произвести на расстоянии 53^S от бесколлимационной линии и во втором положении - при переходе бесколлимационной линии. Возможны, конечно, и другие варианты для осуществления этого условия.

Мы не думаем, что возможность исключения рассмат-

риваемой ошибки освобождает нас от забот держать наклон щелей по возможности ближе к нулю, т.к. практически невозможно обеспечить условие (17) точно, и при большом b всякая неточность при наводке звезды связана с увеличением погрешности определения момента прохождения. Однако есть смысл стремиться к выполнению условия (17), чтобы при наклонах щелей порядка $1/50$ влияние от этого на средний момент прохождения было минимальным.

Все вышеизложенное в равной мере относится и к наблюдениям звезд в нижней кульминации.

§ 3. Влияние наклона горизонтальных нитей искателя

Источником систематических ошибок при наличии наклона щелей может послужить наклон горизонтальных нитей искателя, по которым проводится наводка изображения звезды на середину визирной решетки.

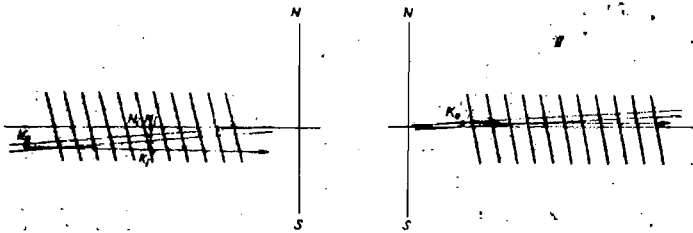


Рис. 3

Обозначим через d тангенс угла наклона установочных нитей искателя и условимся считать его положительным, если смещение совершенно против направления часовой стрелки. Сохраним прежние обозначения для точек наводки изображения звезды и расстояний их от меридиана /рисунок 3/ и для точек пересечения траектории изображения звезды с l -тым краем щели визирной решетки.

Если допустить, что середина установочных нитей согласована с OW в меридиане, то можно писать для

всех i

$$K_i M_i = f_0 d, \quad K_i M'_i = f'_0 d. \quad (18)$$

Следует учитывать, что поправки к моменту регистрации имеют противоположный знак в первом и втором положении инструмента, т.е.

$$\Delta t_i = - \overline{N_i M_i} \sec \delta = - f_0 b d \sec \delta, \quad (19)$$

$$\Delta t'_i = + \overline{N_i M'_i} \sec \delta = + f'_0 b d \sec \delta, \quad (19')$$

где b - тангенс наклона щелей, как раньше.

Так как все моменты регистрации в первом положении инструмента искажены одинаково, и также одинаково искажены все моменты во втором положении инструмента, то поправка к среднему моменту прохождения звезды следующая

$$\Delta T_{cp}^* = - \frac{bd}{2} (f_0 - f'_0) \sec \delta. \quad (20)$$

Так как в выражение (20) входит разность расстояний до точек наводки, то совпадение середины установочных нитей с OW в меридиане не является обязательной.

Возможно оценить, что для того, чтобы поправка (20) по абсолютной величине была не больше $0^{\circ}001$ при $f_0 - f'_0 = 53^{\circ}$ и $\delta = 70^{\circ}$, необходимо обеспечить $|bd| < 10^{-5}$. Это становится довольно затруднительной задачей при большом наклоне щелей решетки около $1/50$, т.к. тогда наклон горизонтальных нитей искателя допускается лишь в пределах $1' - 2'$. Это является практически не выполнимым требованием, и именно последнее обстоятельство требует разыскивания путей, обеспечивающих наклонность щелей визирной решетки в более жестких пределах, чем $\pm 1/50$.

Следует еще прибавить, что систематические ошибки из-за наклона визирной решетки не зависят от порядка наблюдений, т.е. поправки не меняют знак от того, начаты ли наблюдения с запада или с востока.

Л и т е р а т у р а

1. Н. Н. Павлов, Тр. ГАО, сер. II, т. LIX, 1946.

K o p s a v i l k u m s

L. R o z e

REŽGA SPRAGU SLĪPUMA IETEKME UZ ZVAIGŽŅU KULMINACIJAS
MOMENTU REĢISTRACIJU

Aplūkoti atsevišķi cēloņi, kas var izkropļot reģistrējamos zvaigžņu kulminācijas momentus slīpu režga spraugu gadījumā. Atrastas dažas likumsakarības. 1. Instrumenta stobra un meklētāja liekšanās dēļ radušās momentu kļūdas neietekmē pulksteņa korekciju, bet gan instrumenta azimutu. 2. Kļūdu, ko izsauc zvaigznes diennakts kustība pa paralēli, var eliminēt, ja zvaigzni iestāda pēc noteikta priekšraksta. 3. Meklētāja horizontālo pavedienu slīpums var ienest novērojumos ievērojamu sistemātisku kļūdu.

S u m m a r y

L. R o z e

THE INFLUENCE CAUSED BY THE INCLINATION OF THE SLITS
OF GRATING ON THE REGISTRATION OF STAR TRANSITS

The present study deals with the various reasons which may mutilate the observed star transits in the case of inclination of the slits of grating. The following regularities have been found. 1. Errors committed at the moments of registration by bending of the tube and finder do not influence the clock correction but the azimuth of the instrument. 2. Errors called forth by the curvature of the parallel of the observed star can be eliminated by fixing the star strictly according to prescriptions. 3. The inclination of the horizontal threads of the finder may cause serious systematic errors in observations.

К. А. Ш т е й н с и И. К. Р у н г а й н е

О ЛОЖНЫХ ИМПУЛЬСАХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА
РЕГИСТРАЦИИ ПРОХОЖДЕНИЯ ЗВЕЗД АО ЛГУ ИМ. П. СТУЧКИ

Точность астрономических наблюдений при определении времени на пассажном инструменте, установленном в меридиане, зависит от многих различных причин. Задача улучшения точности астрономических наблюдений намного упрощается, если становятся известными главные причины ошибок. Если невозможно установить, какие причины дадут наибольшие ошибки, то целесообразно, по крайней мере, определить ту группу причин, которая дает наибольшие ошибки. Согласно такой постановке задачи мы изучали влияние точности регистрации моментов прохождений на поправки часов. Точность регистрации моментов сигналов зависит в основном от дрожания атмосферы и работы регистрирующего фотоэлектрического устройства, но не зависит от точности значения прямого восхождения, ошибок работы перекладывающего механизма и других подобных важных очагов ошибок. Исследование влияния точности регистрации моментов прохождений на поправку часов состояло в том, что для каждого прохождения звезд была определена ошибка регистрации одной пары контактов и перевычислялись поправки для 18 поправок Э. Каупуши 1965 г. по методу наименьших квадратов с весами, обратно пропорциональными ошибкам регистрации. Если ошибки регистрации имели бы случайный характер, то среднее арифметическое из поправок не должно было меняться. Однако при перевычислении оказалось, что в среднем значение поправок увеличилось на 3 мсек.

В таблице 1 столбце 2 даны значения поправок вычисленных без весов, а в столбце 3 - с весами.

Чтобы выяснить причину систематического увеличения поправок часов при взвешивании, были рассмотрены данные наблюдений более подробно. Оказалось, что "увеличение" значений поправок происходит почти исключительно за счет звезд у которых имеются многократные отпечатки моментов прохождений на ленте печатающего хро-

Т а б л и ц а 1

Дата наблюдений	Поправка часов в сек	Поправка часов после взвешивания в сек	Разница в мсек.
1	2	3	4
1965 II 23	+0,132	+0,131	- 1
IV 12	+0,268	+0,273	+ 5
	+0,276	+0,274	- 2
IV 27	+0,428	+0,441	+13
V 3	+0,516	+0,525	+ 9
	+0,519	+0,522	+ 3
V 15	+0,712	+0,710	- 2
	+0,710	+0,712	+ 2
V 29	+0,983	+0,987	+ 4
	+0,974	+0,974	0
VI 18	-0,020	-0,017	+ 3
VI 5	+0,106	+0,110	+ 4
VI 22	+0,253	+0,253	0
	+0,239	+0,246	+ 7
VI 24	+0,287	+0,290	+ 3
VII 26	+0,118	+0,121	+ 3
	+0,129	+0,129	0
VIII 16	+0,277	+0,279	+ 2

нографа. Это навело на мысль, что многократные отпечатки сигналов являются ложными. Исследования К.А. Штейнса и Э.Я.Каупуши [1] многократных импульсов на восьмишлейфовом осциллографе показали, что наша гипотеза о том, что многократные отпечатки являются ложными, правильна.

Л и т е р а т у р а

1. К. А. Ш т е й н с и Э. Я. К а у п у ш а. Наст. сб. стр 79.

K o r s a v i l k u m s

K. Š t e i n s un I. R u n g a i n e

PAR LVU AO FOTOELEKTRISKAS IEKARTAS LIEKĒM
SIGNĀLIEM

Salīdzinot pulksteņa korekcijas, kas aprēķinātas, svaro-
jot novērojumus pēc registrēto kontaktu izkliedes ar ko-
rekcijām bez svarošanas, atklāts, ka LVU AO fotoelektriskā
iekārta zināmos nosacījumos dod liekos signālus.

S u m m a r y

K. Š t e i n s and I. R u n g a i n e

ABOUT FALSE SIGNALS OF THE PHOTOELECTRIC DEVICE AT
THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF THE LATVIAN STATE
UNIVERSITY

By comparison of clock corrections computed without or
with weights depending upon dispersion of registered con-
tacts, it is found that the photoelectric device of the
Astronomical Observatory may deliver false signals under
some conditions.

С о д е р ж а н и е

1. К. А. Ш т е й н с , Об исследованиях вращения Земли Службой времени Астрономической обсерватории Латвийского Госуниверситета им.П.Стучки ...3
2. К. А. Ш т е й н с и Э. Я. Ка у п у ш а, К во просу о выборе коэффициентов трения атмосферы о землю32
3. Л. Ф. Р о з е , Исследование системы наблюдений 1964 и 1965 годов Службы времени ЛГУ38
4. К. А. Ш т е й н с, К. А. Ц и р у л и с и Э. Я. Ка у п у ш а , Искусственная звезда для определения запаздывания фотоэлектрического усилителя49
5. К. А. Ш т е й н с и Э. Я. Ка у п у ш а , О некоторых ошибках фотоэлектрической установки АО ЛГУ79
6. К. А. Ш т е й н с и Э. Я. Ка у п у ш а, Об основных вопросах теории запаздывания фотоэлектрических регистраций прохождения звезд.....97
7. Л. Ф. Р о з е , Влияние наклона щелей визирной решетки на момент регистрации звездных прохождений120
8. К. А. Ш т е й н с и И. К. Р у н г а й н е, О ложных импульсах фотоэлектрического устройства регистрации прохождения звезд АО ЛГУ им. П.Стучки131

C o n t e n t s

1. K. Š t e i n s. About investigations of irregularities of the Earth's rotation of the Astronomical Observatory of P.Stučka Latvian State University.....3
2. K. Š t e i n s and E. K a u p u š a. About choise of coefficients of friction between atmospheric air and Earth32
3. L. R o z e. Investigation of the system of observations during the years 1964 -1965 in Time Service of the Latvian State University38
4. K. Š t e i n s, K. C i r u l i s and E. K a u p u š a. An artificial star equipment for determination of the lag of photoelectric device49
5. K. Š t e i n s and E. K a u p u š a. About some errors of the photoelectric device at the Astronomical Observatory of the Latvian State University79
6. K. Š t e i n s and E. K a u p u š a. Theory of lag of photoelectric device for registration of star transit97
7. L. R o z e. Influence caused by the inclination of the slits of the registration of star transits120
8. K. Š t e i n s and I. R u n g a i n e. About false signals of the photoelectric device at the Astronomical Observatory of the Latvian State University ..131

УДК 525.0

Об исследованиях вращения Земли службой времени астрономической обсерватории Латвийского госуниверситета им. П.Стучки. К.А.Штейнс, "Ученые записки Латвийского Государственного Университета", 1967 г. том 96, вып.3. 3.

Формируются задачи служб времени и популярно описываются исследования, которые проводились в АО Латв. госунив. С 1952 г. по 1966 г. точность астрономических наблюдений АО ЛГУ повысилась в двое. Анализируются ошибки приема точных сигналов, хода часов, каталогов и ошибки пассажного инструмента и их причины. Описывается неравномерности вращения Земли и их причины. Иллюстр.3, библиогр.: 16 назв.

УДК 525.35

К вопросу о выборе коэффициентов трения атмосферы о землю. К.А.Штейнс и Э.Я.Каупуша. "Ученые записки Латвийского Государственного Университета", 1967 г. том 96, вып.3. 2.

Исследована возможность определения коэффициентов трения атмосферы о ровную поверхность и относительно поверхностей леса и океана. Использованы данные о скоростях ветра в приземном слое атмосферы. В работе показано, что передачу момента количества движения Земли и обратно можно объяснить двумя коэффициентами трения т.е. о ровную поверхность и относительно поверхности океана. Табл.-1, библиогр.: 2 назв.

УДК 529.71

Исследование системы наблюдений 1964 и 1965 годов Службы времени Латвийского Государственного Университета . Розе Л. Ф. " Ученые записки Латвийского Государственного Университета", 1967 г., том 96, вып.3. 38.

Наблюдения 1964 и 1965 годов Службы времени Латвийского Государственного университета, обработанные в системе каталога К4, имеют довольно выраженную сезонную волну. После перевычисления наблюдений в системе Пулковского опорного каталога Ф678, волна значительно уменьшается. Даны поправки для редукции прямых восхождений 18 звезд на систему каталога Ф678. Таблиц 3. Иллюстр. 2. Библиогр.: 7 назв.

УДК 522.6

Искусственная звезда для определения запаздывания фотоэлектрического усилителя К.А. Штейнс, К.А. Цирулис и Э.Я. Каупуша " Ученые записки Латвийского Государственного Университета" 1967 г. том 96, вып.3, 49.

В работе даны описания и теория предлагаемой искусственной звезды. Устройство "искусственная звезда" представляет собой источник света перемещающегося равномерно вдоль прецизионного винта. При равномерном вращении прецизионного винта, его индекс регистрирует положение источника света при помощи импульсов времени. Равномерность перемещения источника света зависит от ошибок зубчатых колес. Разработана методика исследования ошибок зубчатых колес. Ошибки зубчатых колес не превышают 0,006 сек при частоте 50 гц. Чтобы иметь представление об интегральной точности сконструированного прибора сфотографированы и измерены импульсы при перемещении источника света. Иллюстр.10, табл.6, библиогр.3 назв.

УДК 522.982

О некоторых ошибках фотоэлектрической установки АО ЛГУ. К.А.Штейнс и Э.Я.Каупуша. "Ученые записки Латвийского Государственного Университета" 1967 г., том 96, вып.3. 79.

Установлены и исследованы при помощи осциллографа и устройства "искусственная звезда" следующие ошибки фотоэлектрического устройства АО ЛГУ: 1/ложные сигналы, 2/ возмущения с частотой 50 гц, 3/ошибки, возникающие от неправильной регулировки напряжения на фотоумножителях, при наличии двух разных постоянных времени
Иллюстр.: 4, табл.: 3, библиогр.: 5 наав.

УДК 529.71

Об основных вопросах теории запаздывания фотоэлектрических регистрации прохождения звезд. К.А.Штейнс и Э.Я.Каупуша "Ученые записки Латвийского Государственного Университета", 1967 г., том 96, вып.3. 97.

Вычислены запаздывания фотоэлектрических устройств в зависимости от температуры звезды, абсорбции в атмосфере и в оптике от длины волны, спектральной чувствительности фотоумножителя, вторичного спектра объектива скорости перемещения звезды и положения веркальной решетки. Вычисленные значения запаздывания хорошо согласуются с теми же значениями, полученными при помощи устройства "искусственная звезда". Иллюстр.: 1, табл. 8, библиогр. : 3 наав.

УДК 522.38

Влияние наклона щелей визирной решетки на момент регистрации звездных прохождений. Розе Л.Ф. "Ученые записки Латвийского Государственного Университета", 1967 г., том 96, вып. 3, 120.

Рассмотрены причины, которые могут исказить регистрируемые моменты звездных прохождений при наличии наклона щелей визирной решетки. Найдены некоторые закономерности: 1. Ошибки моментов из-за гнущия трубы инструмента и искателя не влияют на поправку часов, но изменяют значение азимута инструмента. 2. Ошибку, вызванную движением звезды по суточной параллели, можно исключить при определенной установке звезды. 3. Значительные систематические ошибки могут возникнуть вследствие наклона горизонтальных нитей искателя. Иллюстр. 4. Библиогр.

УДК 522.982

О ложных импульсов фотоэлектрического устройства регистрации прохождения звезд. АО ЛГУ им. П.Стучки. К.А.Штейнс и И.К.Рунгаине "Ученые записки Латвийского Государственного Университета", 1967 г., том. 96, вып. 3, 131.

Сравнивая поправки часов, которые вычислены при помощи ввешивания за разброс зарегистрированных контактов, с поправками часов без весов, констатировано, что фотоэлектрическая установка АО ЛГУ при определённых условиях даёт ложные импульсы. Табл. 1, библиогр. - 1 навв.

ЗЕМЛЯ ВРАЩАЕТСЯ НЕРАВНОМЕРНО

Латвийский ордена Трудового Красного Знамени государственный
университет имени Петра Стучки

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

том 96

АСТРОНОМИЯ

Выпуск 3

Редактор: кандидат физико-математических наук

М.А. Дерягинс

Корректор: **И.Э. Залькаване**

.....
Подписано к печати 23.03.1967 года. Заказ № 290. ЯТ24582.
Форм. бум. 60x84/16. Печ. ласт. 9,0. Печ. издат. ласт. 7,1.

Тираж 520. Цена 50 коп.

Отпечатано на ротационной машине, г. Рига, бульвар Райниса, 19.
Латвийский ордена Трудового Красного Знамени государственный
университет имени Петра Стучки.

44/5805

LATVIJAS UNIVERSITĀTES BIBLIOTĒKA



0509052735