

Федеральное агентство морского и речного транспорта  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского»  
Кафедра технических средств судовождения

## **АВТОРУЛЕВОЙ «АИСТ»**

Методические указания  
по выполнению лабораторной работы  
по дисциплине технических средств судовождения  
для курсантов и студентов  
специальности 26.05.05 «Судовождение»

Составители А.И.Саранчин,  
В. А. Щепетильников,  
В. Ф. Полковников

Владивосток  
2016

УДК 629.5.058.42.052.2

**Саранчин, А. И.** Авторулевой «АИСТ»

Методические указания / А. И. Саранчин , В. А. Щепетильников, В. Ф. Полковников, – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2016. – 37 с.

Лабораторная работа соответствует разделу 2 учебной программы «Технические средства судовождения». В лабораторную работу включены три темы, учебные цели которых соответствует требованиям Конвенции ПДНВ на уровне эксплуатации. Для контроля качества усвоения материала после каждой темы приведены контрольные вопросы, в приложении дан образец отчета по лабораторной работе.

Предназначено для курсантов и студентов заочников судоводительской и радиотехнической специальностей высших морских учебных заведений, а также слушателей, обслуживающих технические средства навигации на судах морского флота.

Ил. 9, табл. 4, библиогр. 3 назв.

Рецензент:

Г. Н. Шарлай, канд. техн. наук, доцент,  
МГУ им. адм. Г. И. Невельского

Авторулевой «АИСТ»

**ISBN**

© Саранчин А. И., В. А. Щепетильников,  
В. Ф. Полковников 2016

© Морской государственный университет  
им. адм. Г. И. Невельского, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Общие организационно-методические указания	стр 4
2	Лабораторная работа. Авторулевой «АИСТ» Тема №1. Принцип работы, технические характеристики, состав комплекта, устройство приборов комплекта	7
3	Тема №2. Функциональная схема авторулевого «АИСТ»	21
4	Тема №3. Эксплуатация авторулевого АИСТ	26
5	Приложение 1. Образец отчета о лабораторной работе.	33
6	Список литературы	35

## ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В настоящем пособии представлена лабораторная работа по эксплуатации ТСС, предусмотренная рабочей программой дисциплины «Технические средства судовождения» (раздел 2) для специальности 26.05.05 (180403) «Судовождение».

Лабораторная работа соответствуют квалификации вахтенного помощника капитана, определяемой спецификацией минимального стандарта компетентности для реализации функции «Судовождение на уровне эксплуатации», представленной в **таблице А-II/1 Кодекса ПДНВ** и частично закрывает компетенцию, представленную в колонке 1.

В колонке 1 этой таблицы дана усвояемая **компетенция** «Планирование и осуществление перехода и определение местоположения»

Конкретно по отношению к авторулевым в колонке 2 определены **знание, понимание и профессиональные навыки** указано на:

- *знание систем управления рулем,*
- *эксплуатационных процедур и перехода с ручного управления на автоматическое и обратно,*
- *настройка органов управления для работы в оптимальном режиме.*

В колонке 4 определены **критерии для оценки компетентности**, указано на следующее:

- *Проверка работы и испытание навигационных систем соответствуют рекомендациям изготовителя и хорошей морской практике;*
- *Выбранный способ управления рулем является наиболее подходящим для преобладающих метеоусловий, состояния моря и судопотока, а также предполагаемых маневров.*

В колонке 3, где **методы демонстрации компетентности** по отношению к компасам, определены, как *одобренная подготовка с использованием лабораторного оборудования.*

В модельном курсе Кодекса ПДНВ для вахтенных помощников капитана при несении навигационной вахты, одобренном ИМО 2013 года, по отношению к авторулевым рекомендовано иметь ЗНАНИЯ и отработать ТРЕБУЕМЫЕ НАВЫКИ по следующим вопросам:

- *объяснить принцип работы авторулевых;*
- *перечислить и объяснить функции ручных настроек;*

- описать процедуру перехода с автоматического управления на ручной и обратно;
- объяснить, что означает адаптивный авторулевой и кратко объяснить каковы его функции;
- описать контроль курса и сигнализацию ухода с курса;
- описать операцию записи курса в журнал;
- перечислить другие тревожные сигнализации, установленные в приборе;
- определить, как авторулевой участвует в проверке рулевой машины перед выходом в рейс;
- объяснить регулировки при эксплуатации авторулевого;
- объяснить рекомендации по ТО авторулевого;
- объяснить необходимость в периодическом контроле авторулевого для убеждения нахождения на верном курсе;
- определить, как тестировать, проверять авторулевой вручную раз за вахту;
- описать факторы, вызывающие причины перехода на ручной вид управления для предотвращения потенциально опасной ситуации;

*Ниже приведен оригинальный текст:*

- *explains the principle of an automatic pilot system;*
- *lists and explains the functions of the manual settings;*
- *describes the procedures for change-over from automatic to manual steering and vice versa;*
- *explains what is meant by an adaptive automatic pilot and briefly explains how it functions;*
- *describes the course monitor and the off-course alarm ;*
- *describes the operation of the course recorder log;*
- *lists the other alarms fitted to the system;*
- *states that the automatic pilot should be included in the steering gear testing prior to the ship's departure;*
- *explains the regulation regarding the use of the automatic pilot;*
- *explains in the recommendation on performance, standards for automatic pilots;*
- *explains the need for regular checking of the automatic pilot to ensure that it is steering the correct course;*
- *states that the automatic pilot should be tested manually at least once per watch;*
- *describes the factors to take into account regarding the change-over to manual control of steering in order to deal with a potentially hazardous situation.*

**Дополнительно согласно ФГОС необходимо знать:**

- принцип действия всех технических средств судовождения;
- комплектацию и функциональные схемы приборов;
- правила эксплуатации навигационных приборов;
- принципиальные ограничения, которые имеют место при эксплуатации приборов в определенных условиях;

**уметь:**

- использовать информацию, получаемую с технических средств судовождения;
- обслуживать навигационные приборы при исполнении обязанностей вахтенного помощника капитана;
- определять поправки приборов, учитывать или компенсировать их;
- контролировать работоспособность приборов и их готовность к навигационному использованию;
- организовывать технический контроль при эксплуатации судна и судового оборудования в соответствии с установленными процедурами;
- определять производственные программы по техническому обслуживанию, сервису, ремонту и другим услугам при эксплуатации судна;
- использовать информационные технологии при разработке эксплуатационных требований и эксплуатации новых видов транспортного оборудования.

Конкретные умения и навыки определяются целью, сформулированной в начале каждой темы лабораторной работы.

Лабораторная работа выполняется в специализированной аудитории кафедры ТСС (кабинет 113), где размещен изучаемый навигационный прибор. До начала занятия курсант обязан проработать материал соответствующей лекции (изучение конспекта и рекомендованной литературы). Перед выполнением работы следует ознакомиться с её содержанием, методическими указаниями, критериями оценки и, в случае необходимости, основными теоретическими положениями по теме работы. На занятии необходимо иметь курс (конспект) лекций, тетрадь для лабораторных работ по ТСС.

Порядок выполнения и вариант работы определяются преподавателем. В приложении лабораторной работы предлагается бланк отчета, который заполняется индивидуально, либо группой. Защита ЛР осуществляется по предоставлению отчета и подтверждается ответами на контрольные вопросы.

При работе на действующей технике, проводится инструктаж по технике безопасности с росписью в журнале по ТБ.

Лабораторная работа оценивается преподавателем по завершении цикла занятий. Общие критерии оценки: 90-100% выполненных заданий (задач) – «отлично», 80-89% - «хорошо», 70-79% - «удовлетворительно», менее 70% - «неудовлетворительно». Более подробные требования к выполнению работы (в случае необходимости), указываются в методических указаниях к каждой теме лабораторной работы.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1**  
**АВТОРУЛЕВОЙ «АИСТ»**  
**ТЕМА № 1**

**ПРИНЦИП РАБОТЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ,  
СОСТАВ КОМПЛЕКТА, УСТРОЙСТВО ПРИБОРОВ КОМПЛЕКТА**

*Цель работы: Изучить принцип действия авторулевого, устройство, состав комплекта, принципиальные ограничения, которые имеют место при эксплуатации приборов в определенных условиях.*

Время - 2 часа

**Описание темы лабораторной работы**

**1. Принцип работы авторулевого**

Авторулевым называется устройство, позволяющее управлять курсом судна с помощью судового рулевого привода и представляющее собой систему автоматического управления, состоящую из элементов преобразования и исполнительных устройств. Датчиком информации о курсе судна является, как правило, гирокомпас.

Современные авторулевые позволяют:

- автоматически удерживать судно на заданном курсе;
- автоматически учитывать снос судна;
- автоматически изменять курс судна на определенную величину, заданную судоводителем;
- управлять судовым рулевым приводом вручную.

Рассмотрим принцип работы авторулевого, используя рис. 1. Допустим, судно движется некоторым гирокомпасным курсом ГКК. Под воздействием внешних факторов  $f(t)$  (волнение моря, ветер, реакция винта и т. д.) судно начинает отклоняться от курса. Обозначим:  $\alpha$  – угол отклонения судна от курса;  $L$  – момент внешних сил, действующих на судно.

Отметим, что при управлении рулем действия автомата и человека ничем не отличаются. Очевидно, что отклонение судна от курса вызывает момент  $L$ . Для решения основной задачи управления – **задачи возвращения его на заданный курс**, в первую очередь, надо 1) оценить величину этого момента, а затем пользуясь этими данными 2) остановить уход с курса, а затем 3) вернуть судно на заданный курс. Поскольку воздействие получило судно, то его и надо использовать в качестве измерительного устройства для оценки внешнего воздействия.

Человек делает оценку, используя свои органы чувств, а для построения автомата надо использовать законы механики. Согласно им действие момента вызовет угловое ускорение  $\dot{\alpha}$ , то есть противодействующий инерционный момент  $J\ddot{\alpha}$  ( $J$  – момент инерции судна). Кроме того, моменту  $L$  будут противодействовать:

$K\dot{\alpha}$  – момент сопротивления среды, то есть воды и воздуха;

$C\beta$  – момент, создаваемый пером руля,

где  $K$  и  $C$  – соответствующие коэффициенты пропорциональности;

$\beta$  – угол кладки руля.

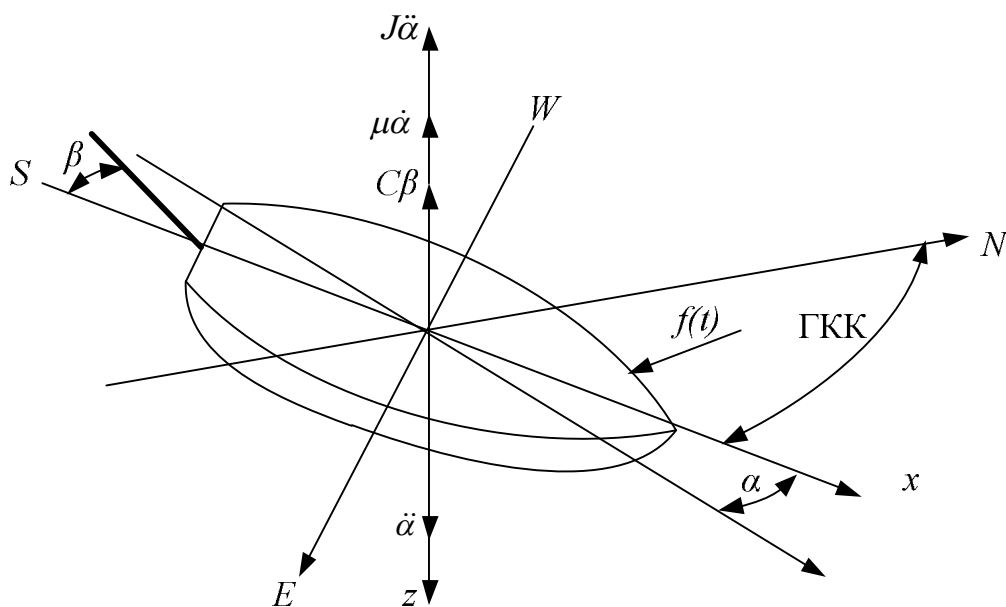


Рис. 1

Согласно третьему закону Ньютона момент противодействия судна равен внешнему моменту. Приравняв сумму противодействующих моментов к моменту внешних сил, получим уравнение движения судна. Это и есть закон движения судна по углу рыскания

$$J\ddot{\alpha} + K\dot{\alpha} + C\beta = L. \quad (1)$$

Таким образом, судно своим движением указало величину внешнего воздействия (левая часть формулы). Из уравнения видно, что судно является инерционным звеном второго порядка, поскольку оно имеет значительную массу.

После оценки момента  $L$  предпринимаются действия по его компенсации, то есть по возвращению судна на заданный курс действием руля. Для этой цели используется основной принцип управления – управление по отклонению. Чем больше отклонение  $\alpha$  от заданного курса, тем на больший



угол надо переложить руль. В авторулевом эту задачу выполняет сигнал, пропорциональный отклонению

$$\beta = K_1 \alpha, \quad (2)$$

а данный закон управления так и называется – *пропорциональный* (П). Здесь  $K_1$  – коэффициент пропорциональности.

Под действием переложеного руля судно вначале будет замедлять циркуляцию, затем, прежде чем пойти обратно, изменение курса на некоторое мгновение прекратится. При этом угол  $\alpha$  будет максимальны, следовательно, и угол  $\beta$  кладки руля также максимальный. Таким образом судно получит максимальный момент в обратном направлении и с ускорением «покажется» к заданному курсу. Поскольку угол  $\alpha$  будет уменьшаться, то уменьшится и управляющий сигнал (2) и перо руля начнет отводиться, но оно все еще переложено влево (рис. 1) и судно продолжает разгоняться по курсу. Когда судно вернется на заданный курс ( $\alpha = 0$ ), то и перо руля окажется в диаметральной плоскости ( $\beta = 0$ ). Однако при движении влево судно получило разгон и вследствие своей большой массы оно пройдет заданный курс и продолжит циркуляцию влево. Знак  $\alpha$ , а, значит, пропорционального сигнала (2) изменится. Руль переложится влево и далее указанная выше картина повторится в обратном порядке.

Итак, мы видим, что судно под управлением только пропорционального сигнала совершает незатухающие колебания по курсу. Так ведет себя любое инерционное звено второго порядка при воздействии только пропорционального сигнала. Например, гирокомпас, под действием только маятникового момента; автомобиль, если имеет только рессоры – после удара о кочку он будет «прыгать» на рессорах и «не держать» дорогу. Поскольку морское дело зародилось на тысячелетия раньше, чем наука автоматика, то в морском деле закрепилось свое наименование такому явлению, оно носит термин – рыскание.

Очевидно, что качество управления низкое, поскольку велика амплитуда рыскания, которая равна первому отклонению судна от курса. Необходимо, насколько это возможно, снизить рыскание. Путь решения этой проблемы известен с древних времен. Еще античные строители древней Греции и древнего Рима его использовали при возведении своих грандиозных сооружений. Дело в том, что при строительстве стен необходимо строго выдерживать их вертикальность. Для этой цели во все времена применялся отвес. Однако в ветреную погоду отвес раскачивался, что затрудняло его ис-

пользование и могло снизить точность и качество работы. Для гашения колебаний строители погружали груз отвеса в сосуд с водой, а впоследствии – с маслом.

Данное открытие древних с успехом используется до сих пор. Например, у некоторых типов гирокомпасов колебания их чувствительного элемента гасятся с помощью жидкостного (чаще всего – масляного) успокоителя, а ранее упоминавшиеся колебания автомобиля – с помощью масляного амортизатора. В технике, в автоматике процесс успокоения колебаний чаще всего называется демпфированием, в морском деле применительно к судну – одерживанием.

Итак, помещение тела в более плотную и вязкую среду изменяет параметры его движения. Проанализируем, на какой конкретно параметр движения влияет изменение среды. Приложим к телу одно и то же усилие в воздухе, в воде и в какой-либо другой, более вязкой среде. Очевидно, что в воздухе при этом усилии тело достигает наибольшей скорости, в воде скорость будет значительно меньше, а в более вязкой жидкости скорость будет еще меньше. Таким образом, плотность и вязкость среды влияет на скорость движения тела.

С точки зрения математики, линейная скорость, это первая производная от расстояния, проходимого телом, а угловая скорость – первая производная от угла его поворота. Таким образом, в нашем примере среда является дифференцирующим звеном, влияющим на движение тела. Следовательно, для достижения эффекта одерживания в схему авторулевого достаточно включить *дифференцирующее звено*, которое должно вырабатывать сигнал производной от угла  $\alpha$  отклонения судна от заданного курса  $K_2\dot{\alpha}$ . Это новый управляющий сигнал. Теперь закон управления судном называется пропорционально-дифференциальным (ПД)

$$\beta = K_1\alpha + K_2\dot{\alpha}, \quad (3)$$

где  $K_2$  – коэффициент пропорциональности.

Дополнительный сигнал, в данном случае сигнал, пропорциональный угловой скорости отклонения судна  $K_2\dot{\alpha}$ , определяется либо путем дифференцирования курсового сигнала, снимаемого с гирокомпаса, либо путем подключения к схеме управления измерителя угловой скорости поворота судна (гиротахометра).

Человек, стоящий на руле оценивает степень внешнего воздействия на судно по двум параметрам: 1) по углу отклонения  $\alpha$ ; 2) по угловой скорости ухода с курса. Действительно, если рулевой видит, что судно отклонилось на большой угол и уходит дальше с большой угловой скоростью, то, чтобы остановить циркуляцию, перо руля надо переложить также на большой угол. Угловую скорость рулевой определяет по скорости вращения шкалы курса. Если позволяют условия, это можно сделать и по внешним признакам (относительно воды, береговых ориентиров). Авторулевой решает эту задачу, используя величину дифференциального сигнала  $K_2\dot{\alpha}$ .

Итак, судно в результате значительного внешнего воздействия отклонилось от курса на большой угол  $\alpha$  и продолжает движение в этом направлении с большой угловой скоростью  $\dot{\alpha}$  (рис. 1). Угол  $\alpha$  нарастает (рис.2), однако оба сигнала имеют один и тот же знак, в данном случае «+». Следовательно, сигналы складываются, что приводит к большому углу  $\beta$  кладки руля. Судно замедляет скорость ухода с курса, и в момент  $t_1$  оно полностью останавливается, то есть  $\alpha$  максимален, а  $\dot{\alpha} = 0$ . Благодаря форсированному действию руля угол отклонения судна от курса значительно меньше, чем при действии только пропорционального сигнала. С этой точки судно начинает возвращение к линии курса. Поскольку оно идет в обратную сторону, то угловая скорость движения  $\dot{\alpha}$  меняет знак. Теперь сигналы вычитаются, и угол кладки руля уменьшается. В момент времени  $t_2$  сигналы сравниваются. Суммарный сигнал теперь равен нулю и руль вернулся в диаметрально плоскость (ДП) судна, то есть  $\beta = 0$ . Однако благодаря большой инерционности судно продолжает с угловой скоростью  $\dot{\alpha}$  двигаться дальше. В промежутке времени от  $t_2$  до  $t_3$  пропорциональный сигнал уменьшается и отрицательный дифференциальный сигнал становится больше чем пропорциональный, благодаря чему руль перекалывается в противоположную сторону. Таким образом, руль перекалывается в противоположную сторону заранее, что не позволяет судну «проскочить» заданный курс. Так благодаря ПД закону достигается эффект автоматического одерживания.

При ПД законе управления возникает статическая погрешность вследствие несимметричного рысканья судна (рис. 3).

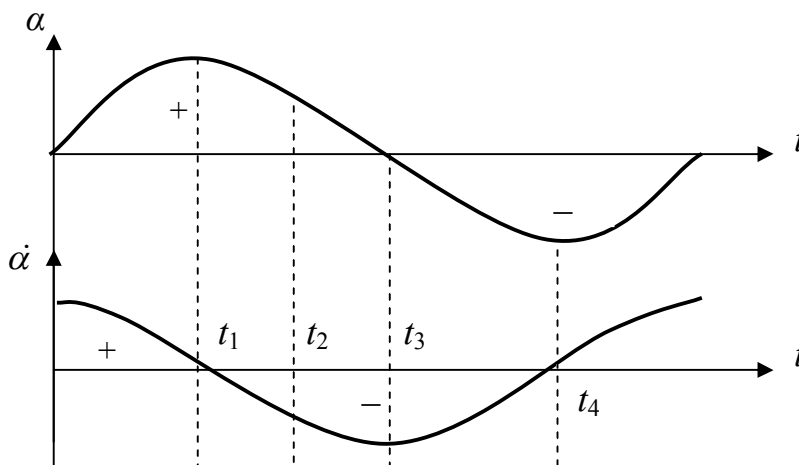


Рис. 2

Допустим, внешнее воздействие оказывается несимметричным: например, в нашем случае волна бьет в левый борт. Момент от удара волны сбивает судно с линии заданного курса вправо на значительный угол  $\alpha$ . Отработывая этот сигнал, авторулевой возвращает судно на прежний курс (линия 1). Однако следующий удар приводит опять к отклонению вправо уже от этой линии. Судно снова возвращается на прежний курс, но на линию 2, и т. д. Следовательно, линия пути не соответствует заданному курсу. Таким образом, возникает необходимость добиться, чтобы рысканье стало симметричным. Эту задачу решает *интегрирующее* звено, которое имеется в составе формирователя закона управления (ФЗУ) авторулевого.

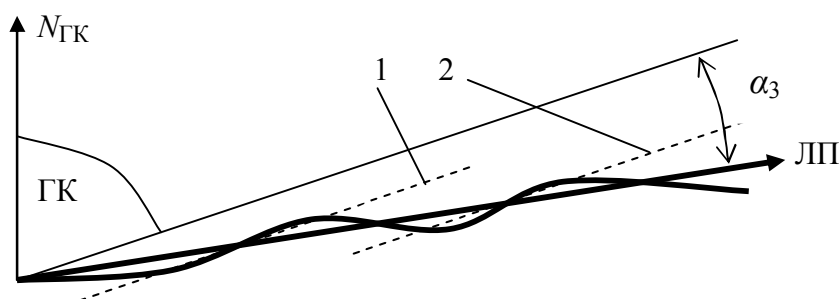


Рис. 3

С точки зрения физического смысла интеграл – это сумма бесконечно малых приращений. Следовательно, знакопеременная часть сигнала при суммировании взаимокompенсруется. Постоянная часть  $\alpha_3$  накапливается и в качестве дополнительного сигнала поступает на вход следящей системы.

Благодаря этому руль оказывается постоянно переложенным на некоторый угол, в нашем случае влево. Далее уже от этого положения работает ПД закон. Так реализуется *пропорционально-интегрально-дифференциальный* (ПИД) закон управления, который описывается уравнением

$$\beta = K_1\alpha + K_2\dot{\alpha} + K_3 \int \alpha dt . \quad (4)$$

Вернемся к уравнению (1), характеризующему движение судна. Преобразуем его. Поскольку теперь известно, что угол кладки руля пропорционален углу отклонения судна от курса  $C_1\alpha = C\beta$ , то произведем деление переменных

$$J\ddot{\alpha} + K\dot{\alpha} + C_1\alpha = L$$

и разделим все члены на коэффициент  $C_1$

$$T_2^2\ddot{\alpha} + T_1\dot{\alpha} + \alpha = L , \quad (5)$$

где  $T_2$  – постоянная времени, характеризующая инерционность судна, то есть его реакцию на внешнее воздействие (ускорение);

$T_1$  – постоянная времени характеризующая инерционность судна, обусловленную влиянием внешней среды.

Поскольку действием руля внешний момент скомпенсирован, то справедливо равенство

$$T_2^2\ddot{\alpha} + T_1\dot{\alpha} + \alpha = K_1\alpha + K_2\dot{\alpha} + K_3 \int \alpha dt . \quad (6)$$

Это уравнение движения судна под управляющим воздействием руля с использованием ПИД закона управления.

Произведя преобразования Лапласа и заменив производную его оператором  $p$ , получим передаточную функцию автоматической системы «авторулевой» как отношение выходного сигнала к входному

$$W(p) = \frac{K_2/p + K_1p + K_0}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} . \quad (7)$$

Составляющие данного уравнения очевидны, если обратиться к уравнению (6).

## 2. Технично-эксплуатационные характеристики авторулевого

Авторулевой "Аист" предназначен для стабилизации судна на заданном курсе и устанавливается на судах неограниченного района плавания, имеющих электрогидравлическую рулевую машину.

Средняя величина рыскания в автоматическом режиме (при оптимальных положениях регуляторов) равна примерно  $\pm 1^\circ$  при волнении моря до 3 баллов и не превышает  $\pm 3^\circ$  при волнении в 5 баллов. Когда волнение выше 5 баллов, авторулевой обеспечивает надежное удержание судна на курсе, но величина рыскания при этом будет более  $\pm 3^\circ$ .

При любом виде управления максимальный угол перекаладки руля не превышает  $35^\circ$ . Данная система является самосинхронизирующейся, т.е. все оперативные переключения (переход с пульта на пульт, с одного вида управления на другой, с одного канала управления на другой) осуществляется при любом положении руля и не требуют дополнительных операций по согласованию системы.

Схемой авторулевого "Аист" предусмотрены следующие виды управления: автоматический, следящий, простой и ручной.

Величина разовой поправки к курсу при автоматическом виде управления  $\pm 35^\circ$ , изменение коэффициента обратной связи (КОС) обеспечивается в пределах 0,2 – 2, изменение коэффициента производной от 0 до 1.

Авторулевой имеет определенное количество модификаций, имеющих свой индекс и отличающихся входящими в состав системы приборами.

Индекс авторулевого "Аист" состоит из трех знаков, которые означают следующее:

- первая цифра указывает тип насосного агрегата, например 1 – насос переменной производительности, 2 – насос постоянной производительности;
- вторая цифра соответствует количеству пультов автоматического управления;
- третья цифра указывает на количество пультов следящего управления.

Авторулевой "Аист 1-11" работает с насосом переменной производительности, содержит один пульт автоматического управления и один пульт следящего управления.

Если пульт управления авторулевого выполнен в виде секции общесудового пульта, то в конце индекса ставится буква "П", если авторулевой предназначен для управления двумя рулевыми машинами, то в конце индекса ставится буква "Д". Например: "Аист 1-10 П", "Аист 1-10 Д". Если авторулевой работает на электрогидравлическую рулевую машину с электрогидропреобразователем, то в конце индекса ставится буква "К", например "Аист 2-10 К".

### 3. Состав комплекта авторулевого

В комплект авторулевого входят следующие приборы (рис. 4):

1. Пульт управления (ПУ). Является основным прибором. Обеспечивает автоматическое удержание судна на заданном курсе (автоматический режим), а так же осуществляет следящий и простой вид управления рулевой машиной. ПУ устанавливается в рулевой рубке.

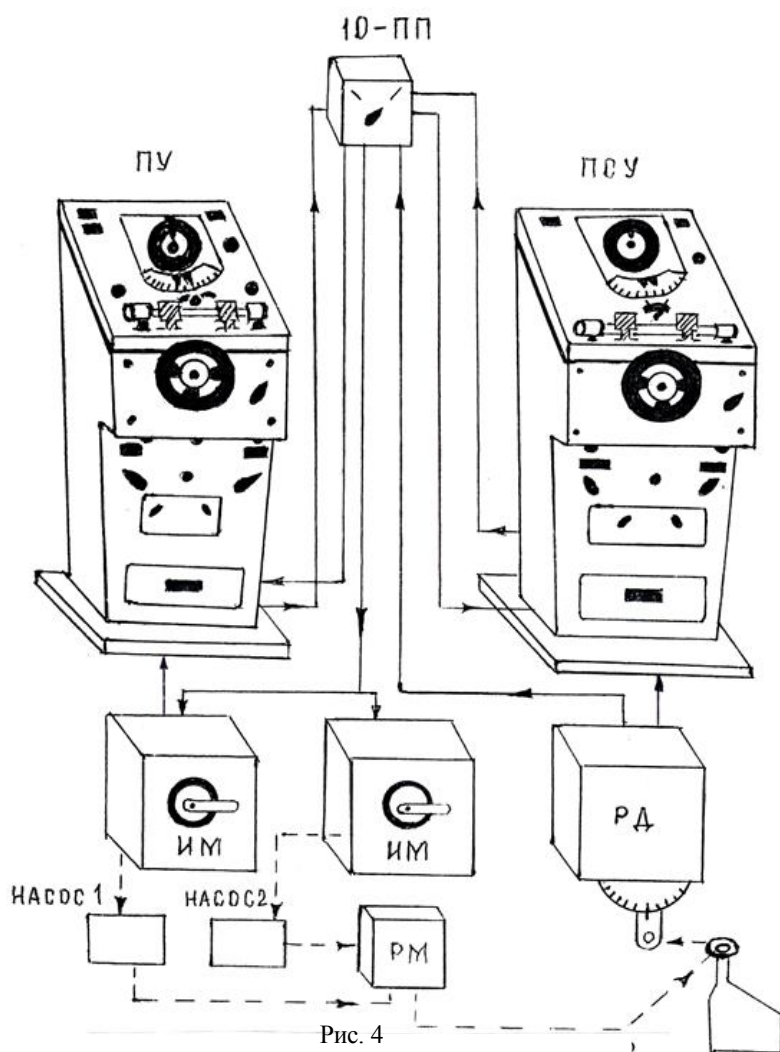


Рис. 4

2. Пульт следящего управления (ПСУ). В ПСУ в отличие от ПУ отсутствует вид управления "Автомат" и элементы, блоки и узлы, относящиеся к этому режиму работы. Устанавливается на верхнем мостике (если в комплекте имеется ПУ).

3. Исполнительный (ИМ) служит для управления насосом. Располагается в румпельном отделении. В комплект авторулевого входят, как правило, два ИМ.

4. Рулевой датчик (РД) служит для выработки сигнала обратной связи и сигнала о положении пера руля. Устанавливается в румпельном отделе-

нии и механически связан с баллером руля.

В зависимости от типа насоса в авторулевых могут применяться ИМ-1 или ИМ-2. ИМ-1 предназначен для управления работой насоса регулируемой (переменной) производительности. ИМ-2 предназначен для управления золотниковым устройством насоса постоянной производительности.

Помимо рассмотренных приборов, в комплект авторулевого "Аист" могут дополнительно входить:

а) соединительный ящик (СЯ), предназначенный для разветвления электрических цепей;

б) станция электроэлементов (СЭ), которая содержит ряд устройств, обеспечивающих работу схемы;

в) при наличии в комплекте ПУ и ПСУ в состав входит переключатель пультов 10-ПП, обеспечивающий переключение этих приборов.

Насос 1, насос 2 и рулевая машина (РМ) в комплект авторулевого не входят.

#### **4. Устройство приборов комплекта авторулевого**

**Пульт управления** (рис. 5) является основным прибором системы, с которого осуществляются все виды дистанционного управления рулем.

Корпус прибора литой, водозащищенного исполнения. К палубе прибор крепится четырьмя болтами без амортизаторов. В приборе ПУ имеются три основные крышки : верхняя, средняя и нижняя. Верхняя и средняя крышки поворачиваются на петлях, причем верхняя крышка может фиксироваться в открытом положении, нижняя – съемная. В средней крышке имеется небольшая дополнительная крышка (1) для доступа к предохранителям.

На верхней крышке расположены:

- окно для шкал репитера гирокомпаса и положения руля (2);
- гнездо для согласования шкал курса, закрытое специальной крышкой (3);
- рукоятка переключателя видов управления (4);
- рукоятка (5) переключателя Кос (коэффициент обратной связи);
- рукоятка потенциометра регулировки сигнала производной (6);
- окна сигнализации ламп с надписями "Автомат", "Следящий", "Простой" (7);
- поручень и педали простого вида управления (8).

На передней панели пульта расположены штурвал (9) и рукоятка механического стопора штурвала (10). Под передней панелью имеются рукоятки потенциометров регулировки освещения шкал и сигнальных ламп видов управления (11), переключатель чувствительности (12). На средней крышке находятся рукоятки переключателей запуска электродвигателей насосов (13), окна сигнальных ламп запуска электродвигателей насосов (14), кнопка отключения сигнала перегрузки электродвигателей насосов (15), рукоятка переключателя сигнала ухода судна с курса (16).



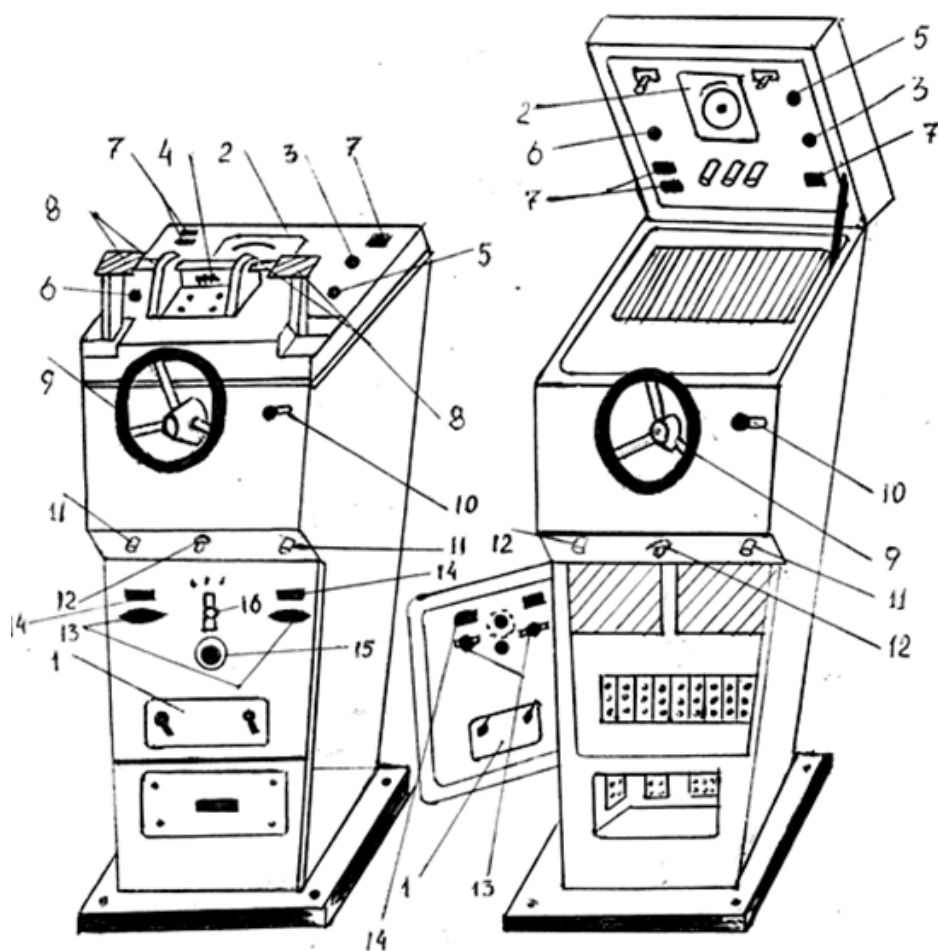


Рис. 5

Внутри корпус прибора ПУ разделен на три самостоятельных отсека.

В верхнем отсеке расположены: механизм ПУ, объединяющий в себе электромеханические элементы, силовые трансформаторы для питания схемы, усилитель для возврата штурвала в исходное положение, два потенциометра регулировки освещения шкал и сигнальных ламп видов управления, переключатель чувствительности системы.

В среднем отсеке расположены два усилителя и два блока коррекции решающих схем обоих каналов управления.

Нижний отсек предназначен для ввода внешнего кабеля.

**В пульте следящего управления (ПСУ) (рис. 6), в отличие от пульта управления (ПУ) отсутствует вид управления "Автомат" и все элементы, блоки и узлы, относящиеся к этому режиму работы.**

Конструкция, внешний вид и корпус ПСУ аналогичны ПУ.

На верхней крышке расположены:

- окно для шкал репитера гирокомпаса и положения руля (1);
- гнездо для согласования шкал курса (2), закрытое крышкой;
- рукоятка переключателя видов управления (3);
- окна (4) сигнальных ламп с надписями режимов работы "Простой", "Следящий";
- деревянный поручень и педали вида управления "Простой" (5).

На внутренней стороне крышки смонтированы:

- переключатель видов управления;
- микровыключатели вида управления "Простой";
- сигнальные лампы видов управления.

На передней панели пульта находятся штурвал управления (6) и рукоятка механического стопора (7). Под передней панелью расположены рукоятки потенциометров регулировки освещения шкал и сигнальных ламп видов управления (8).

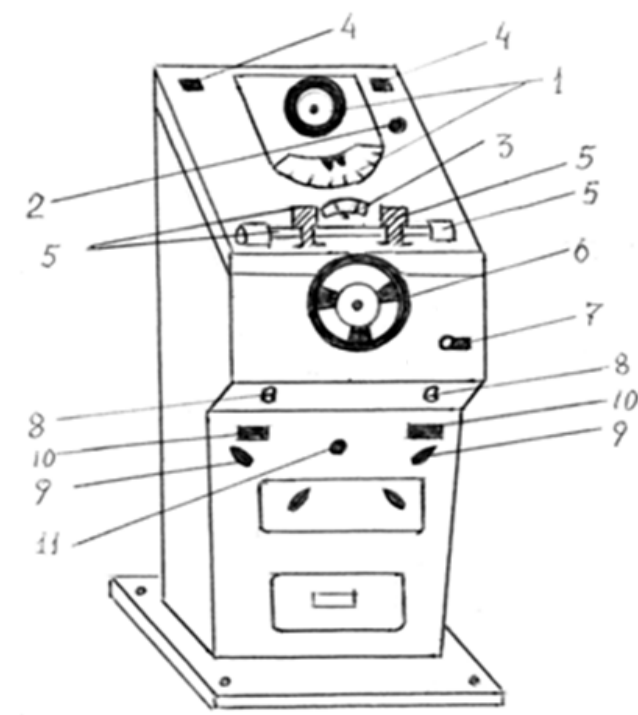


Рис. 6

На средней крышке находятся:

- рукоятки (9) переключателей запуска электродвигателей насосов;
- окна (10) сигнальных ламп запуска электродвигателей насосов;
- кнопка для снятия звукового сигнала (11).

Внутри корпуса прибор разделен на три отсека. В верхнем отсеке расположены: механизм ПСУ, объединяющий в себе все электромеханические элементы, силовые трансформаторы для питания схемы, усилитель

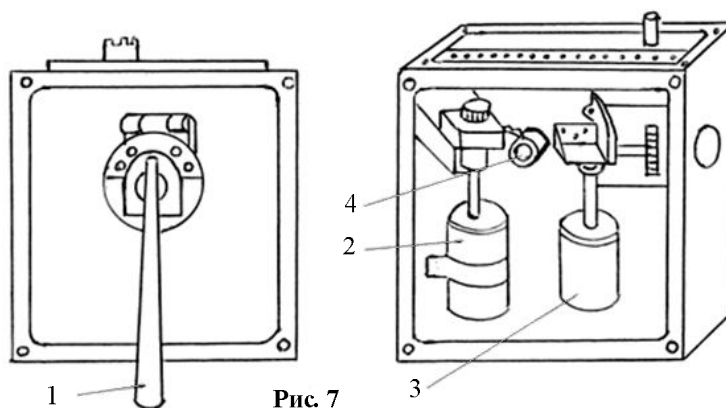
для возврата штурвала в исходное положение, два резистора регулировки освещения шкал и сигнальных ламп видов управления.

В среднем отсеке расположены два усилителя обоих каналов управления.

В нижнем отсеке расположены сальники и клеммные платы для ввода и подключения внешнего кабеля.

Конструкция ПСУ для управления рулевой машиной, имеющей один насосный агрегат, незначительно отличается от конструкции ПСУ для управления рулевой машиной, имеющей два насосных агрегата.

**Исполнительный механизм (ИМ)** обеспечивает управление работой насоса рулевой машины (насос в комплекте исполнительного механизма не входит) (рис. 7).



В зависимости от типа насоса в авторулевом могут использоваться ИМ-1 (при управлении работой насоса регулируемой производительности) или ИМ-2 (при управлении золотниковым устройством насоса постоянной производительности).

Конструктивно приборы ИМ-1 и ИМ-2 выполнены одинаково. Отличие их только в том, что выходным элементом у прибора ИМ-1 является валик, а у ИМ-2 рейка.

Поворот выходного валика ИМ-1 может регулироваться в пределах  $\pm 15^\circ \div 30^\circ$  в зависимости от установки механического ограничителя. Прибор (рис.2.4) состоит из корпуса и двух съемных крышек. На передней крышке расположены рукоятка ручного (местного) управления (1). В приборе установлены : электродвигатель типа АДП-262 (2), датчик обратной связи (3), нулевой установитель (4), фрикционная муфта.

В отличие от ИМ-1 прибор ИМ-2 обеспечивает перемещение рейки в пределах  $\pm 3 \div 10$  мм.

Фрикционная муфта дает возможность управлять насосом с помощью рукоятки ручного управления.

В комплект авторулевого обычно входят два исполнительных механизма, т.к. он имеет два независимых канала управления.

**Рулевой датчик (РД)** служит для выработки сигнала отрицательной обратной связи, пропорционального углу перекладки руля, и сигнала истинного положения руля для рулевых указателей (рис. 8).

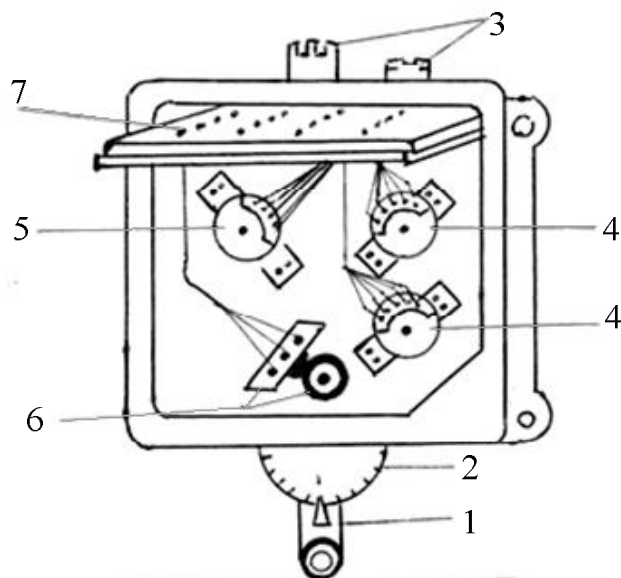


Рис. 8

Рулевой датчик (рис. 8) состоит из корпуса и крышки. В нижней части корпуса выведен валик с рычагом (1), который кинематически связан с баллером руля. Над рычагом расположена шкала положения руля (2). На стенке корпуса РД расположены сальники для ввода кабелей (3). Прибор устанавливается в румпельном отделении.

В корпусе прибора установлены два сельсина Сс2 и Сс3 для выработки сигналов обратной связи (4), пропорциональных углу перекладки руля, сельсин Сс1, являющийся датчиком рулевых указателей (5), электрические ограничители предельного угла поворота руля (6), состоящие из микровыключателей и кулачков, клеммные платы (7). Механическая часть закрывается кожухом.

### Контрольные вопросы:

1. Какие законы регулирования могут использоваться в авторулевых?
2. Сколько видов управления имеет авторулевой "Аист"?
3. Какую функцию выполняет рулевой датчик, входящий в комплект авторулевого?
4. Какие электрические машины находятся в рулевом датчике?
5. Для чего служит сельсин Сс3 в ПУ?
6. Назовите основные органы управления, расположенные на пульте управления (ПУ).

## ТЕМА № 2

### ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОРУЛЕВОГО «АИСТ»

*Цель работы:* Изучить принцип работы авторулевого по функциональной схеме.

Время - 2 часа

#### Описание темы лабораторной работы

##### 1. Функциональная схема режима автоматический

Авторулевой "Аист" имеет три основных вида управления: автоматический, следящий, простой.

**Автоматический** вид управления позволяет обеспечить автоматическое удержание судна на заданном курсе и осуществляется следующим образом.

Отклонение судна от заданного курса фиксируется гирокомпасом, который через сельсин – датчик разворачивает роторы сельсинов Сс1 и Сс5 ПУ (рис. 1). Сельсин Сс1 при этом развернет шкалу грубого и точного отсчета курса. Сельсин Сс5 через механический дифференциал развернет ротор сельсина Сс3 и связанный с ним подвижный индекс. Переменное напряжение  $U_1$  с выходной обмотки сельсина Сс3 пропорциональное углу отклонения судна от курса, поступает на вход блока коррекции и затем в суммирующую схему. Блок коррекции вырабатывает сигналы  $U_2$  и  $U_3$ , пропорциональные первой производной от угла изменения курса и интегралу от угла изменения курса. На входе усилителя появится напряжение, равное сумме вышеуказанных сигналов. Усиленный по напряжению и мощности сигнал с выхода усилителя поступает на управляющую обмотку двигателя в исполнительном механизме (ИМ), который начинает смещать управляющий орган насоса из нулевого положения, и руль будет переключиваться в таком направлении, чтобы судно возвращалось на заданный курс.

При переключке руля с выходных обмоток сельсинов Сс1 в ИМ и Сс3 в рулевом датчике (РД) будут сниматься напряжения  $U_4$  и  $U_5$ , пропорциональные углу отклонения валика насоса и углу отклонения пера руля. Эти напряжения с обратным знаком будут подаваться на сумматор, т.е. суммарное напряжение на входе усилителя будет:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 - U_4 - U_5. \quad (1)$$

Через некоторый момент времени, когда напряжение на входе усилителя станет равным нулю, т.е. когда будет выполнено равенство  $U_1 + U_2 + U_3 = U_4$ , а  $U_5 = 0$ , перекладка руля прекратится и под действием момента, создаваемого переложением руля, судно прекратит отклонение от курса и начнет возвращаться на курс.

Гирокомпас через сельсин-датчик будет разворачивать роторы сельсинов Сс1 и Сс5 в обратном направлении. Сельсин Сс5 через механическую передачу начнет также разворачивать ротор Сс3 в также обратном направлении. При этом напряжение сигнала производной  $U_2$  в блоке коррекции (БК) изменит свою фазу и это приведет к тому, что руль придет в диаметрально противоположную плоскость раньше, чем оно возвратится на заданный курс и будет переключаться на другой борт, чтобы воспрепятствовать перекачке судна через линию заданного курса, т.е. произойдет "одерживание" судна.

Для различных условий плавания и в зависимости от гидродинамических свойств судна, при одном и том же угле отклонения судна от курса, требуется различная величина угла перекладки руля для возвращения судна на заданный курс. Эта регулировка осуществляется с помощью регулятора коэффициента обратной связи (Кос) и производится путем изменения напряжения возбуждения сельсина Сс3 в рулевом датчике. Различное напряжение возбуждения снимается с трансформатора Тр5 через регулятор Кос.

Автоматический вид управления используется в открытом море, при хорошей видимости и при отсутствии близкорасположенных навигационных опасностей.

## **2. Функциональная схема режима следящий**

Следящий вид управления используется при швартовках судна, проходе узкостей и т.д.. При этом виде управления у штурвала находится матрос, а переключатель видов управления устанавливается в положение "Следящий". Управление рулем в этом случае происходит следующим образом.

При повороте штурвала на некоторый угол через кинематическую связь будут развернуты ротор сельсина Сс3 и стрелка заданного положения руля. Блок коррекции в этом виде управления отключен. С выходной обмотки сельсина Сс3 на вход усилителя подается переменное напряжение  $U_1$ . Усиленный сигнал с выхода усилителя поступает на управляющую обмотку исполнительного двигателя прибора ИМ, который начнет поворачивать управляющий орган насоса и одновременно ротор сельсина Сс1. Смещение

управляющего органа насоса относительно нулевого положения приведет к перекладке руля, что в свою очередь заставит развернуться ротор сельсина Сс3 в приборе РД, механически связанного с баллером руля. Выходные обмотки сельсинов Сс3 в ПУ, Сс1 в ИМ и Сс3 РД соединены последовательно между собой и подключены на выход усилителя, т.е. образуют суммирующую схему. При перекладке руля на выходе усилителя будет сигнал, который определяется следующим выражением:

$$U = U_1 - U_4 - U_5 .$$

Сигналы, снимаемые с сельсинов в РД и ИМ, являются сигналами отрицательной обратной связи, и поэтому фаза этих сигналов всегда противоположна фазе сигнала, снимаемого с сельсина Сс3 в пульте управления.

При перекладке руля напряжения  $U_4$  и  $U_5$  увеличиваются, в то время как напряжение  $U_1$  не изменяется. Когда сумма сигналов  $U_4$  и  $U_5$  станет равной напряжению  $U_1$ , управляющий орган насоса будет повернут на некоторый угол. Следовательно, перекладка будет продолжаться  $U_4$  будет увеличиваться, и напряжение на входе, а следовательно, и на выходе усилителя изменит фазу. При этом исполнительный двигатель в ИМ придет во вращение и начнет перемещать управляющий орган насоса и одновременно ротор сельсина Сс1 в нулевое положение, т.е.  $U_5$  будет уменьшаться, а  $U_4$  будет по-прежнему увеличиваться. Когда  $U_4$  станет равным  $U_1$ , а  $U_5 = 0$ , двигатель остановится, управляющий орган насоса будет находиться в нулевом положении и перекладка руля прекратится. В этом случае угол кладки руля будет равен углу, заданному штурвалом на ПУ. Если необходимо оставить штурвал, а, следовательно, и руль заложенным на некоторый угол, то его можно застопорить с помощью механического стопора, рукоятка которого выведена на переднюю панель пульта. Для ограничения угла перекладки руля в пределах  $35 \pm 1^\circ$  используется механический стопор в кинематической линии, связывающей штурвал и сельсин Сс3, а, кроме того, электрические ограничители в РД.

### 3. Функциональная схема режима простой

**Простой** вид управления используется в том случае, если следящий вид управления по каким-либо причинам не может быть использован.

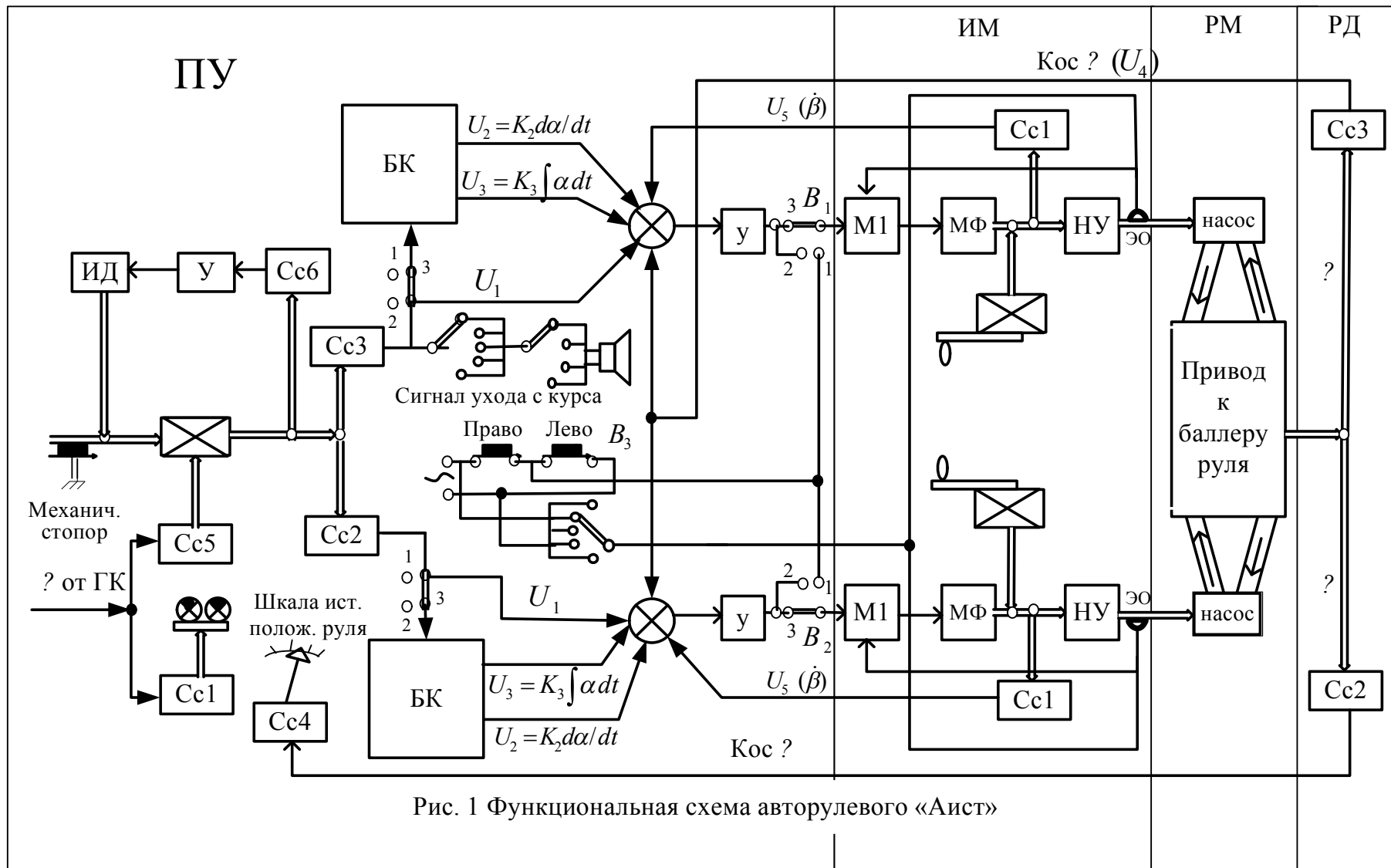


Рис. 1 Функциональная схема авторулевого «Аист»



В этом случае переключатель видов управления нужно установить в положение "Простой". Управление рулевой машиной осуществляется следующим образом: при нажатии на правую педаль на ПУ замыкаются нормально разомкнутые контакты микропереключателей В<sub>4</sub>, В<sub>5</sub>, которые подключают обмотку управления двигателя в приборе ИМ к трансформатору Тр1. Двигатель начинает вращаться и, сжимая пружину нулевого установителя (нуль-органа НО), перемещает выходной валик прибора, а вместе с ним и управляющий орган насоса рулевой машины в соответствующую от нулевого положения сторону, что приводит к перекладке руля (вправо) от диаметральной плоскости судна. Перекладка руля будет осуществляться до тех пор, пока нажата педаль. При отпускании педали контакты микровыключателя В<sub>4</sub> (В<sub>5</sub>) размыкаются, двигатель обесточивается и нулевой установитель возвращает управляющий орган насоса в нулевое положение, при этом перекладка руля прекращается. Для возвращения руля в ДП или для перекладки его на другой борт необходимо нажать на левую педаль. Таким образом, при виде управления "Простой" величина угла перекладки руля зависит от времени удержания педали в нажатом положении.

В авторулевом "Аист" имеется и **ручной вид управления**, который осуществляется непосредственно с ИМ с помощью специальной ручки, перемещающей валик насоса.

### **Задания**

1. Изучить принцип работы авторулевого Аист по его функциональной схеме.
2. Заполнить таблицу 2 в отчете по лабораторной работе.
3. Ответить на контрольные вопросы

### **Контрольные вопросы**

1. Какие сигналы вырабатывает блок коррекции и какую функцию они выполняют?
2. Что такое коэффициент обратной связи (Кос)?
3. Назовите сигналы, используемые в режиме работы "Автомат".
4. Объясните принцип работы авторулевого в режиме "Автомат".
5. В каких случаях используется следящий и простой вид управления?
6. Объясните принцип работы авторулевого в следящем виде управления?
7. Объясните принцип управления рулевым приводом в режиме «Простой».

## ТЕМА № 3

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОРУЛЕВОГО АИСТ

*Цель работы:* Изучить правила эксплуатации авторулевого. Уметь использовать информацию, получаемую с авторулевого, обслуживать авторулевой при исполнении обязанностей вахтенного помощника капитана, контролировать работоспособность авторулевой и готовность к навигационному использованию, организовывать технический контроль при эксплуатации авторулевого в соответствии с установленными процедурами.

Время - 2 часа

#### Описание темы лабораторной работы

##### 1. Подготовка авторулевого к работе

Перед выходом судна в море необходимо выполнить следующие мероприятия:

1. Произвести внешний осмотр авторулевого и убедиться в отсутствии пыли, механических повреждений, целостности сигнальных ламп, надежности контактных соединений и т.д.

2. Подать питание в схему рулевых указателей (при этом должен сработать бленкер) и убедиться, что при включении схемы рулевых указателей разность между показаниями по шкале рулевой машины РМ и стрелки "Истинный" не превышает  $1^\circ$ .

3. Произвести запуск насоса от местного выключателя.

4. С помощью рукоятки ручного управления насосом переложить руль на  $30^\circ$  сначала вправо, потом влево, а затем вернуть в диаметрально плоскость судна.

5. Переключить управление запуском насоса на ПУ.

6. Выключателем запуска насоса на пульте запустить насос, при этом загорается лампа сигнализации запуска насоса.

7. Проверить синхронную связь сельсина-датчика гирокомпаса и сельсина-приемника в пульте управления, согласовав их положения по шкалам. Согласование осуществляется с помощью рукоятки согласования шкал курса на пульте.

8. Проверить работу электрических ограничителей перекладки руля. Для этого необходимо нажать клавишу "Право" или "Лево" и не отпускать ее

до остановки руля в положении, соответствующем показанию стрелки истинного положения руля ( $35 \pm 1^\circ$ ) "Право" или "Лево".

9. Вернуть руль в диаметрально плоскость судна и убедиться, при отпускании клавиши руль останавливается у нулевого положения с выбегом, не превышающим  $1^\circ - 2^\circ$ .

10. Поставить переключатель видов управления в положение "Следящий", при этом должна загореться сигнальная лампа "Следящий".

11. Поворотом штурвала вправо (влево) задать угол перекладки руля  $30^\circ$  и убедиться по показанию стрелки истинного положения руля, что обработка происходит с точностью  $\pm 2^\circ$ . Отпустить штурвал и убедиться в возвращении его в нулевое положение.

12. Проверить работу электрических ограничителей перекладки руля. Поворотом штурвала необходимо задать угол перекладки  $36^\circ$  и убедиться в обеспечении пределов перекладки ( $\pm 35^\circ$ ) – ( $\pm 1,0^\circ$ ).

13. Поворотом штурвала вернуть руль в диаметрально плоскость судна и проверить работу фиксаторов штурвала.

14. Поставить переключатель видов управления в положение "Автомат", при этом должна загореться сигнальная лампа "Автомат".

15. Проверить работу электрических ограничителей перекладки руля. Для этого необходимо медленно вращать штурвал влево (вправо) до прекращения перекладки руля. Пределы перекладки должны быть ( $\pm 35^\circ$ ) – ( $\pm 1,0^\circ$ ).

16. Убедиться в наличии сигнала производной. Для этого необходимо поставить ручки регулировки производной и Кос на отсчет 1. Поднять верхнюю крышку прибора ПУ, откинуть механизм и, вращая ось сельсина-приемника гирокомпаса до  $15^\circ$  по шкале заданного положения руля, убедиться, что руль и стрелка истинного положения руля перекадываются на борт. При остановке сельсина руль и стрелка истинного положения руля должны вернуться на отсчет  $15^\circ$ .

17. Проверить работу интегрирующего устройства. Для этого необходимо установить Кос равным единице, а рукоятку "Регулировка производной" – на отсчет 0 и сместить штурвалом подвижный индекс на  $2^\circ$  вправо (влево). Стрелка заданного положения руля должна переложиться в ту же сторону, на тот же угол. Интегрирующее устройство должно медленно смещать руль в ту же сторону, что можно заметить по стрелке истинного положения руля. Убедившись в работе интегрирующего устройства, необходимо перевести переключатель видов управления в положение "Простой" и "Сле-

дящий" и проверить сброс интегрирующего устройства по возвращению стрелки истинного положения руля к 2°.

При работе авторулевого с рулевой машиной, имеющей два насоса, необходимо все проверки производить при работе на каждом из насосов. При наличии в авторулевом нескольких пультов управления (ПУ) проверки необходимо производить для каждого из них. Если авторулевой работает с двумя рулевыми машинами, то проверки необходимо производить для каждой рулевой машины (каждого усилителя) на правый и левый борт.

## **2. Обслуживание авторулевого во время эксплуатации**

Для включения авторулевого необходимо:

- переключатель пультов управления, если в авторулевом имеются несколько пультов, установить в положение, соответствующее выбранному пульту;
- переключатель видов управления необходимо установить в положение "Простой";
- запустить насос.

При следовании в узкостях, швартовке и выходе из порта рекомендуется использовать вид управления "Следящий" не только как наиболее удобный и экономичный, но и более безопасный, поскольку обеспечивается высокая оперативность в условиях быстро меняющейся обстановки. В случае неисправности в следящих системах перейти на вид управления "Простой", который является резервным и позволяет выполнять все необходимые команды по маневрированию судна.

При сложных маневрах судна для обеспечения надежности управления рекомендуется запускать оба насоса, что при видах управления "Следящий" и "Простой" увеличивает скорость перекладки руля.

При работе на одном насосе рекомендуется через каждые 12 часов переходить на другой насос для более равномерной эксплуатации оборудования.

Если предполагается следовать длительное время прямым курсом, рекомендуется применять вид управления "Автомат", освобождающий рулевого от необходимости непрерывно переключать руль.

При переходе на вид управления "Автомат" рекомендуется предварительно вывести судно на заданный курс при видах управления "Следящий" и "Простой".

Если при использовании вида управления "Автомат" требуется изменить курс и поправка к старому курсу не превышает  $10^\circ$ , то необходимо поставить подвижный индекс на значение заданного курса, и авторулевой сам выведет судно на этот курс.

Кос и величина производной подбираются в зависимости от состояния моря, угла встречи судна с волной, скорости и водоизмещения так, чтобы величина рыскания судна была наименьшей при наименьшем числе перекладки руля. В тихую погоду величина Кос устанавливается, как правило, меньше единицы. Оптимальное значение Кос определяется опытным путем для каждого вида судна. С усилением волнения моря КОС увеличивают. При этом ухудшается точность удержания судна на заданном курсе, но снижается число кладок руля и уменьшается нагрузка на рулевую машину. Сигнал производной при отсутствии волнения увеличивают, а с ухудшением погоды – уменьшают. При очень сильной качке сигнал производной уменьшают до нуля. Переключатель "Грубо-Точно" в хорошую погоду устанавливают в положение "Точно".

## **Методические указания по выполнению работы**

### **1. Настройка авторулевого на оптимальное управление в режиме стабилизации курса**

Данная часть работы выполняется на компьютерной модели с использованием программы АВТ StCur.

При исследовании САУКС в режиме стабилизации на курсе задаются возмущающие моменты  $M_g(t)$ , имитирующие действие волны на корпус судна. Изменяя коэффициент обратной связи  $k_{oc}$ , коэффициент при производной  $k_2$  (коэффициент тахогенератора –  $k_{ТГ}$ ) и коэффициент при интеграле  $k_3$  ( $k_{инт}$ ) получают различные варианты процесса стабилизации (см. (4)).

Для оценки качества управления в режиме стабилизации используется интегральный квадратичный критерий, величина которого пропорциональна потерям эксплуатационной скорости судна от рыскания и от перекладки руля:

$$I_2 = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} (\Psi^2 + \alpha^2 \delta^2) dt ,$$

где  $T_0$  – интервал оценки;

$\delta$  – угол кладки руля;

$\alpha$  – весовой коэффициент, учитывающий степень влияния на величину потерь скорости 1 град. рыскания и 1 град. перекладки руля.

В заданиях указаны действия, выполняемые кнопками, обозначенными на соответствующей заставке. На рис. 1 показан один из графиков отчета, на котором обозначены все координатные оси: горизонтальная ось  $t$  – ось времени; верхняя  $M$  (синий цвет) – внешнее воздействие; средняя  $D$  (розовая) – график перекладки руля; нижняя (красная) – график **регулируемого параметра**, то есть **курса**.

## 2. Анализ результатов работы

Моделирование внешних факторов осуществляется по закону:

$$M(t) = A - |\sin(w_e \cdot t)|,$$

где  $A$  – постоянная составляющая внешних возмущений;

$w_d$  – угловая скорость периодической составляющей внешних возмущений.

Суммарная площадь верхних волн графика (над осью  $M$ ) больше суммы площадей нижних частей волн, что отражает несимметричность внешних возмущений.

Возмущения, действующие на судно, не равномерны,  $M(t)$  вызывает изменение  $K(t)$ . САУКС есть система с обратной связью, потому происходит запаздывание изменения угла кладки руля. Изменения курса измеряются измерительным устройством (гироскопом) и в соответствие с законом управления вычисляется необходимый угол кладки руля, чтобы компенсировать действие возмущений. Рулевая машина перекладывает руль на заданный угол, создавая вращающий момент, противодействующий возмущению.

Для идеального случая момент, создаваемый переложением рулем, должен быть равен по величине и противоположен по знаку моменту создаваемому возмущениями. Однако из-за того, что действие возмущений измеряется только по отклонению судна от заданного курса (косвенно), фактически угол перекладки руля, компенсирующий возмущения, будет запаздывать по времени относительно этих возмущений. Таким образом, на графике наблюдается фазовый сдвиг, обусловленный обратной связью. Целью управления является минимизация  $\Delta K$  относительно  $K_{зад}$ , при минимальных углах кладки руля.

**Пропорциональный закон:** величина  $\Delta D \sim K(t)$  (“нет отклонения – нет управления”), следовательно, графически изменение угла кладки повторяет изменение рыскания, но с запаздыванием.

**Пропорционально-дифференциальный закон:** подключается угловая скорость судна и руль переключается заранее, учитывая изменение  $W$ . График угла кладки руля  $D(T)$  становится похож на график внешних факторов  $M(T)$ , но сохраняется запаздывание, так как имеем систему с обратной связью.

**Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон:** за счет факторов внешней среды воздействие несимметрично, и происходит изменение  $\Delta K$  больше в одну сторону, и в среднем судно будет двигаться по курсу, отличающемуся от заданного на угол  $\alpha$ .

Компенсация постоянной составляющей возмущений обеспечивается интегральной составляющей закона управления.

При симметричных рысканиях интегральная составляющая равна нулю. Если рыскания не симметрично, то интегральная составляющая пропорциональна среднему отклонению судна от заданного курса.

Для оптимальных параметров управления графики имеют характеристики: угол переключки руля будет запаздывать относительно внешних возмущений, но опережать рыскание и повторять с запаздыванием график  $M(T)$ . Опережение рыскания достигается за счет дифференциальной составляющей закона управления; график рыскания  $K(t)$  симметричен, величина  $\Delta K$  минимальна.

## Задания

1. Ввести параметры моделируемого судна (вторая заставка): постоянную времени  $T = 20 \div 50$  с и коэффициент управляемости судна  $k_s = 0.02 \div 0.09$  (в программе коэффициент управляемости обозначен как  $k_w$ ). Перейти к моделированию процессов (нажать командную кнопку “моделирование процессов”).

2. Исследовать работу САУКС при **пропорциональном законе** управления ( $k_{oc} \neq 0$  и  $k_{TT} \neq 0, k_{инт} = 0$ ). На экране изображаются три графика: изменение курса судна (рыскание)  $K(t)$  – нижний график, угол кладки руля  $D(t)$  – средний график, и воздействия внешней среды (волны) – верхний график –  $M(t)$ . Изменяя значения  $k_{oc}$  от 0.3 до 2.0, выяснить его влияние на характер

процессов. Зарисовать с экрана 3 - 4 характерных процесса, сделать соответствующие выводы.

3. Исследовать работу САУКС при **пропорционально – дифференциальном законе** управления ( $k_{oc} \neq 0$  и  $k_{ТГ} \neq 0, k_{инт} = 0$ ). При неизменном значении  $k_{oc} = 1$ , изменяя  $k_{ТГ}$  от 0 до 50, выяснить его влияние на характер процессов. Скопировать с экрана 3 характерных процесса, сделать соответствующие выводы.

4. Одновременно изменяя  $k_{oc}$  и  $k_{ТГ}$  добиться оптимальной настройки САУКС по минимуму рыскания судна, после ввода новых значений  $k_{oc}$  и  $k_{ТГ}$  следует нажимать кнопку «Ввод в таблицу» для записи значений в таблицу результатов.

5. Одновременно изменяя  $k_{oc}$  и  $k_{ТГ}$  добиться оптимальной настройки САУКС по минимуму интегральной оценки.

6. Исследовать работу САУКС при **пропорционально-интегрально-дифференциальном законе** управления.

При оптимальных значениях  $k_{oc}$  и  $k_{ТГ}$  ввести  $k_{инт}$  от 0.01 до 0.05, выяснить его влияние на характер процесса, сделать выводы. Зарисовать график процесса соответствующего оптимальному критерию. Для определения оптимальных параметров управления следует пользоваться таблицей результатов.

7. Результаты исследования представляются графиками, цифровыми данными, их анализом и выводами по каждому пункту.

### Контрольные вопросы

1. Как выбирается  $K_{oc}$  и сигнал производной?
2. Какие мероприятия входят в подготовку авторулевого к работе?
3. Какие проверки выполняются в простом виде управления?
4. Какие проверки выполняются при следящем виде управления?
5. Какие проверки выполняются при автоматическом виде управления?
6. При каком угле переключки руля должны срабатывать ограничительные контакты?
7. На какой угол отклонится руль при изменении курса на  $10^\circ$ , если  $K_{oc} = 0,5$ ?
8. Как изменить курс при автоматическом виде управления?



## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ

## ОТЧЕТ

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

АВТОРУЛЕВОЙ «АИСТ»

Фамилия \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

## 1. Заполнить таблицу

Таблица конструктивных особенностей авторулевого

№	ДАННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	АИСТ
1	ТИП РУЛЕВОЙ МАШИНЫ	
2	ТИП РЕГУЛЯТОРА АВТОРУЛЕВОГО	
3	СПОСОБ ЗАДАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ	
4	СПОСОБ УЧЕТА МЕТЕОУСЛОВИЙ	
5	СОСТАВ ПУ	
6	СОСТАВ ПСУ	
7	СОСТАВ БЛОКА КОРРЕКЦИИ	
8	СОСТАВ РУЛЕВОГО ДАТЧИКА	
9	СОСТАВ ИМ-1	
10	СОСТАВ ИМ-2	
11	АВАРИЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ	
12	ВИДЫ СИГНАЛИЗАЦИИ	

## 2. Заполнить таблицу изучения функциональной схемы

	ДАННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	АИСТ
	<i>Перечислите элементы при прохождении сигнала по схеме при работе в режиме автомат</i>	
	<i>Перечислите элементы при прохождении сигнала по схеме при работе в режиме следящий</i>	
	<i>Перечислите элементы при прохождении сигнала по схеме при работе в режиме простой</i>	

3. Провести проверки авторулевого заполнить таблицу:

	Название проверки	Перечень действий	Допуск

4. Исследование САУКС в режиме стабилизации на курсе

1	<i>П - закон управления</i>		
	$k_{OC} = \quad k_{TG} = 0$ $k_{INT} = 0$		
2	<i>ПД- закон управления</i>		
	$k_{OC} = \quad k_{TG} =$ $k_{INT} = 0$		
3	<i>ПИД- закон управления</i>		
	$k_{OC} = \quad k_{TG} = \quad k_{INT} =$		

№	<i>Koc</i>	<i>Ktg</i>	<i>Kint</i>	<i>Io</i>	<i>Kmax</i>	<i>Dmax</i>	<i>T</i>	<i>kω</i>
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Выводы:

Отметка о выполнении работы \_\_\_\_\_ преподаватель \_\_\_\_\_

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смирнов Е. Л., Яловенко А. В., Якушенко А. А. «Технические средства судовождения». М.: «Транспорт», 2004 – 544 с.
2. Воронов В.В., Перфильев В.К., Яловенко А.В. Технические средства судовождения. Конструкция и эксплуатация. - М: Транспорт, 1988.
3. Полковников В. Ф. Судовые авторулевые. – Владивосток. МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2005 – 44 с

в плане издания  
методической литературы  
МГУ на 2016 г.

Методические указания

Александр Иванович Саранчин  
Владимир Александрович Щепетильников  
Владимир Филиппович Полковников

АВТОРУЛЕВОЙ «АИСТ»  
Методические указания по выполнению  
лабораторных работ

Компьютерная верстка А. И. Саранчина

Подписано в печать 01.12.2016. Формат 60 × 84/16.  
Мет.-изд. л. Тираж 50 экз. Заказ №  
Отпечатано в типографии РПК МГУ им. адм. Г. И. Невельского  
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а