

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

---

**14/7/11**

**Одобрено кафедрой  
«Нетяговый подвижной  
состав»**

**Утверждено  
деканом факультета  
«Транспортные средства»**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ВАГОНОВ**

**Методические указания к выполнению  
лабораторных работ для студентов V курса**

**специальности  
190302.65 ВАГОНЫ**

**специализации  
190302.65.01 ВАГОНРЕМОНТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**

**РОАТ  
Москва — 2010**

Составители: канд. техн. наук, доц. В.Е. Новиков,  
А.К. Пириев,  
д-р физ.матем. наук, доц. Ю.И. Голечков  
Рецензент – канд. техн. наук, доц. Б.В. Смагин

---

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВАГОНОВ

Методические указания к выполнению  
лабораторных работ

Переиздание

Редактор *П.В. Елистратова*  
Корректурa *В.К. Тихоньчева*  
Компьютерная верстка *Г.Д. Волкова*

---

Тип.зак.	Изд.зак. 261	Тираж 700 экз.
Подписано в печать 29.03.10	Гарнитура Newton	Формат 60 × 90 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>
Усл.печ.л. 4,25		Ризография

---

Редакционный отдел  
Информационно-методического управления РОАТ,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати  
Информационно-методического управления РОАТ,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

© Московский государственный университет путей сообщения, 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Учебный план 2008 г. предусматривает выполнение студентами V курса, при изучении дисциплины «Энергетическое оборудование вагонов», лабораторных работ в объеме 8 часов.

Работы проводятся в период установочной сессии и являются одним из этапов практической проверки усвоения студентами теоретических знаний, приобретенных при изучении основ дисциплины на лекциях и самостоятельно. Кроме того, практическая работа с конкретными элементами электрического оборудования вагонов, схемами и установками, подвергаемыми испытаниям, способствует приобретению практических навыков, необходимых при проверке технического состояния, ремонте и регулировке энергетического оборудования (ЭО) и создает определенную базу для лучшего усвоения теоретического курса и последующей работы над курсовыми работами и дипломными проектами.

Лабораторные работы конкретно знакомят студентов:

- со свойствами проводниковых материалов;
- с отдельными элементами вагонного электрооборудования, их назначением, конструкцией, характеристиками, схемами включения и областями применения;
- с порядком регулировки и испытаний отдельных аппаратов регулирования и защиты;
- с методикой анализа схем автоматического запуска и регулирования режимов работы электрических двигателей, используемых для привода отдельных механизмов пассажирских вагонов (схемы предлагаются преподавателем).

В тексте указаний содержится минимум теоретических сведений, необходимых для выполнения каждой работы.

Для проведения работ в основном используются элементы вагонного электрооборудования (ВЭО) пассажирских вагонов

Часть лабораторных работ, связанных с анализом работы вагонных генераторов автономных систем электроснабжения (АСЭС), проводится с использованием ПЭВМ. Соответствующие методические указания (в двух вариантах) по проведению этих работ приведены в приложении 1.

Для питания изучаемых аппаратов и схем используется электрическая энергия, вырабатываемая специальными источниками (110÷150 В постоянного тока) или получаемая от сети депо (220/380 В трехфазного переменного тока с частотой 50 Гц).

**Необходимо помнить, что неправильное обращение с используемыми источниками питания (напряжение до 380 В), оборудованием, подвергаемым испытаниям, и схемами может привести к поражению электрическим током. Поэтому, перед началом работ студенты должны в первую очередь пройти инструктаж по правилам работы с лабораторным оборудованием, ознакомиться с правилами поведения в лаборатории и методами безопасности, соблюдение которых является обязательным.**

После этого можно приступить к лабораторным работам, программа выполнения каждой из которых предусматривает:

- ознакомление с конструкцией и схемами лабораторной установки, а также с теоретическими основами и методикой проведения работы;
- монтаж испытательной схемы и производство экспериментов;
- фиксацию и обработку полученных результатов;
- оформление отчета по каждой работе;
- сдачу зачета.

***Помните!* Приступать к монтажу испытательной схемы, подавать к ней напряжение и проводить испытания можно только с разрешения преподавателя.**

Отчет по каждой работе должен содержать: электрическую и кинематическую схемы объекта испытаний; таблицы с результатами замеров и расчетов, сами расчеты; графическое изображение зависимостей, снятых при испытаниях; выводы по работе, а также ответы на вопросы, поставленные в конце каждой работы. Отчеты по всем работам следует свести в отдельную тетрадь, на обложке которой указываются исходные данные исполнителя (Ф.И.О., учебный шифр, У КП).

# Лабораторная работа № 1

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. **Цель работы** – оценить практически изменения сопротивления проводов (алюминиевого и медного) и сравнить их с расчетными значениями, а также снять характеристику позисторного датчика, контролирующего температуру нагрева букс.

2. **Объект испытания** – провода, используемые при монтаже электрических схем, и позисторный датчик, входящий в схему контроля нагрева букс (СКНБп).

3. **Краткие теоретические сведения и описание экспериментальной установки**

Провода, выполненные из проводниковых материалов, широко используются при изготовлении обмоток различных аппаратов ВЭО и при монтаже электрических сетей. Основное предпочтение при этом отдается металлам и их сплавам.

Наибольшее распространение из металлов получила медь, используемая для проводных сетей и для изготовления обмоток различных коммутационных аппаратов. В последнее время при выполнении проводных сетей отдельных промышленных установок ее стараются заменить менее дефицитным и более дешевым алюминием. Однако, все вагонные сети проложены с использованием только медных проводов.

Для изготовления реостатов, резисторов и устройств, сопротивление которых электрическому току должно быть высоким, используют такие высокоомные материалы как константан, нихром и другие.

Среди основных параметров, характеризующих свойства проводниковых материалов, следует выделить удельное сопротивление  $\rho$ , и температурный коэффициент сопротивления (ТКС)  $\alpha$ . Удельное сопротивление имеет размерность [Ом·мм<sup>2</sup>/м] и равно сопротивлению проводника длиной  $l = 1$  м с поперечным сечением  $S = 1$  мм<sup>2</sup> при температуре  $t$ .

Обычно в справочниках сообщаются значения удельного сопротивления при температуре, равной  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\rho_{20}$ ).

Для меди  $\rho_{20} = 0,0175$ , а для алюминия –  $0,028\text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ . У таких же широко используемых высокоомных материалов, как константан и нихром, удельное сопротивление равно соответственно  $0,44 \div 0,52$  и  $1,0 \div 1,1\text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}^2$ .

ТКС показывает, на сколько по отношению к первоначальному изменяется сопротивление проводника при нагревании на  $1^{\circ}\text{C}$ . Единицей измерения ТКС служит  $1/\text{град}$ . Экспериментальное значение ТКС для материала испытуемого образца можно определить по экспериментальным данным, используя уравнение

$$\alpha = \frac{R_T - R_t}{R_t(T - t)}, \quad (1.1)$$

где  $R_T$  – сопротивление материала, нагретого до температуры  $T$ ;

$R_t$  – начальное сопротивление материала при температуре  $t$ .

В справочниках для перечисленных выше материалов приводятся следующие значения ТКС: для меди –  $0,0039\text{ 1/град}$ , для алюминия –  $0,0049\text{ 1/град}$ , для константа –  $0,00001\text{ 1/град}$  и нихрома на –  $0,0002\text{ 1/град}$ .

Связь между названными параметрами отражается уравнением

$$\rho_T = \rho_t \cdot [1 + \alpha \cdot (T - t)], \quad (1.2)$$

где  $\rho_t$  – удельное сопротивление при начальной температуре  $t$ ;

$\rho_T$  – удельное сопротивление при рассматриваемой температуре  $T$ .

Пользуясь справочными данными, на основании уравнения (1.2) можно рассчитать сопротивление проводника с учетом его геометрических размеров. Например, сопротивление  $R_l$  провода круглого сечения при температуре  $T$  равно

$$R_T = \frac{l_{\text{п}} \cdot 4}{\pi \cdot d_{\text{п}}^2} \rho_T, \quad (1.3)$$

где  $l_{\text{п}}$  — длина провода, м;  
 $d_{\text{п}}$  — диаметр провода, мм.

Для проведения эксперимента предлагаются медные и алюминиевые провода, имеющие одинаковую длину (один метр) и диаметр (один мм) и позисторный датчик. Замер их сопротивления осуществляется с помощью моста постоянного тока.

Чтобы оценить влияние температуры на испытываемые образцы, они помещаются в термокамеру и нагреваются до заданной температуры. Контроль за температурой обеспечивается с помощью термометра, а ее требуемый уровень поддерживается автоматически.

#### **4. Объем работы**

4.1. Замер омического сопротивления испытываемых образцов при различных температурах.

4.2. Определение для каждого из материалов экспериментального значения сопротивления.

4.3. Сравнение экспериментальных результатов с расчетными полученными на основании расчета по уравнению (1.3) с учетом справочных данных значений ТКС.

#### **5. Порядок проведения и оформления работы**

5.1. Замерить с помощью моста постоянного тока сопротивление  $R_l$  образцов (проводов, датчика), находящихся в термокамере, при начальной температуре.

5.2. Закрыть камеру и подать напряжение к ее нагревательным элементам. По мере увеличения температуры  $T$  в камере замерять, при ее фиксированных значениях, сопротивления ис-

пытуемых образцов. Данные свести в таблицу, форма которой приведена ниже.

Таблица 1

**Результаты эксперимента и расчета**

Экспериментальные данные				Результаты расчета	
$T, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{ПОЗ}}, \text{Ом}$	$R_{\text{AL}}^*, \text{Ом}$	$R_{\text{CU}}^*, \text{Ом}$	$R_{\text{AL,P}}, \text{Ом}$	$R_{\text{CU,P}}, \text{Ом}$

\* С учетом сопротивления подводящих проводов.

5.3. На основе геометрических размеров проводов, подвергнутых испытаниям и с учетом справочных значений ТКС материалов, из которых они выполнены, рассчитать ожидаемые их сопротивления при температуре  $T$ . Свести расчетные данные в таблицу и сравнить с экспериментальными.

5.4. Оформить отчет, сделав заключение по полученным материалам.



## Лабораторная работа № 2\*

# ИССЛЕДОВАНИЕ УГОЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ВАГОННОГО ГЕНЕРАТОРА

1. **Цель работы** – ознакомиться с конструкцией, принципиальной и монтажной схемами включения угольного регулятора напряжения (РНГ), освоить методику снятия характеристик и замера параметров, характеризующих его техническое состояние, изучить основные приемы осмотра, поиска неисправностей, наладки и регулировки.

2. **Объект исследования** – угольный РНГ, устанавливаемый в вагонах с АСЭС. Испытуемый образец угольного регулятора установлен на отдельном испытательном стенде.

3. **Краткие теоретические сведения и описание экспериментальной установки**

Угольный РНГ, одна из конструкций которого помещена на рис. 2.1, *а* обеспечивает требуемый режим работы генератора постоянного тока с продольным магнитным полем, поддерживая его выходное напряжение на заданном уровне независимо от изменения внешних (скорость движения, температура) и внутренних (количество включенных потребителей и режим их работы) факторов. На упомянутом рисунке РНГ смонтирован в одной конструкции вместе с ограничителем тока генератора (ОТГ) и разделительным диодом.

Принцип действия может быть пояснен на примере его упрощенной конструктивной схемы, помещенной на рис. 2.1, *б*. В конструкции регулятора можно выделить три основные части: измерительную, преобразовательную и исполнительную.

К измерительной части (см. рис. 2.1, *б*) относятся катушки К1 и К2. Катушка К1, охватывающая подковообразное ярмо *I* магнитопровода, через резистор *R* включается на выводы **+G**

---

\* Данная лабораторная работа может быть выполнена с помощью ПЭВМ, см. Приложение.

(точка +М) и -G (точка -М) генератора, контролируя его напряжение. Это видно из схемы, приведенной на рис. 2.2.

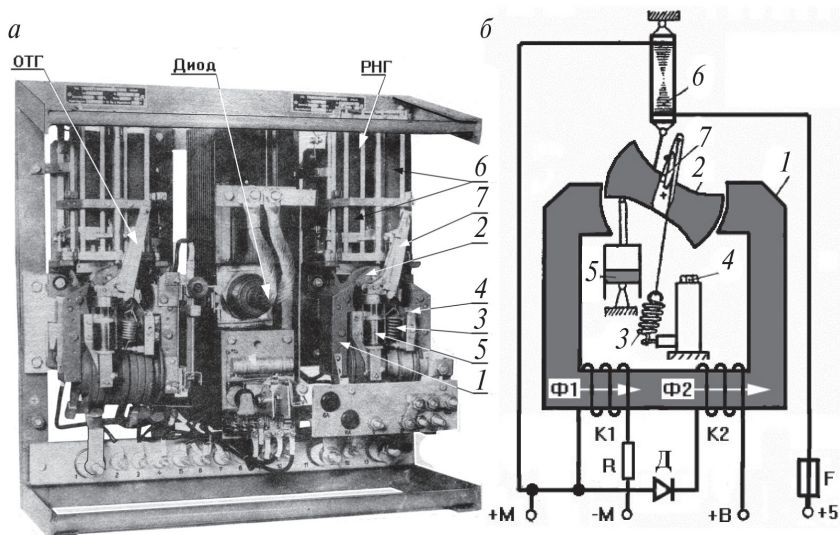


Рис. 2.1. Угольный регулятор напряжения генератора:

*a* — общий вид конструкции; *б* — конструктивная схема;

*1* — магнитопровод; *2* — поворотный якорь; *3* — регулирующая пружина; *4* — натяжной винт; *5* — демпфер; *6* — угольные столбы (три); *7* — траверса якоря

Катушка *K2*, контролирующая ток аккумуляторной батареи, отключена и поэтому на рис. 2.2 не показана.

Преобразовательная часть, выполняющая и функции сравнения, включает (см. рис. 2.1): ярмо *1*, якорь *2*, пружину *3*, натяжной винт *4* и демпфер *5*. Исполнительные функции возложены на угольный столб *6*, на который действует растягивающее или сжимающее усилие кулисно-рычажного механизма (не показан на рис. 2.1, *б*), преобразующего вращательные движения якоря в поступательные.

В регуляторе могут быть установлены три столба, как это можно заметить на рис. 2.1, *a*, включенные по последовательной, параллельно-последовательной или мостовой схеме. Каж-

дый столб РНГ набран из угольных колец толщиной 0,5 мм, с наружным диаметром 30 мм и внутренним – 24 мм.

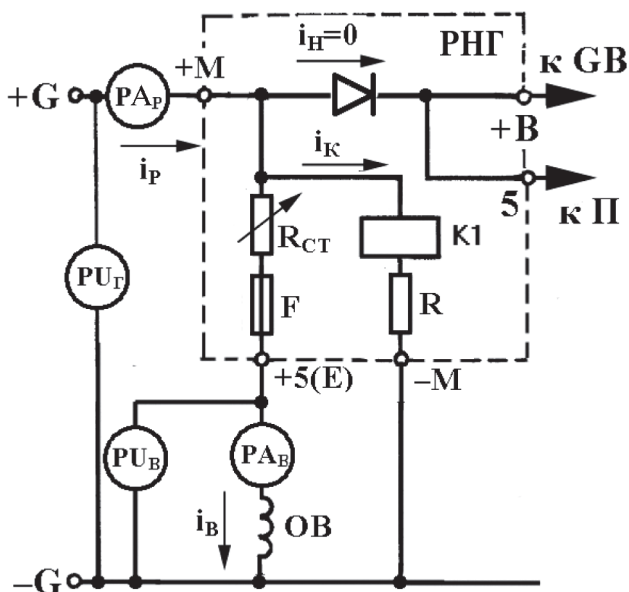


Рис. 2.2. Принципиальная схема включения РНГ при испытаниях

Регулятор работает следующим образом. На стоянке, когда выходное напряжение генератора равно нулю, якорь 2 находится в крайнем правом (см. рис. 2.1.) положении. Столб сжат и его сопротивление  $R_{ст.min}$  имеет наименьшее значение. При движении на выходе вращающегося генератора появляется напряжение. По катушке  $K1$  начинает протекать ток  $i_K$ . Создаваемый при этом в ярме магнитный поток стремится повернуть якорь 2 (против часовой стрелки). Этому препятствует пружина 3, сила натяжения которой может регулироваться винтом 4.

Увеличение скорости движения вагона, а, следовательно, и частоты вращения генератора способствует росту его выходного напряжения и тока возбуждения. Одновременно увеличиваются: ток катушки  $K1$ , магнитный поток в ярме и усилие, стремящееся повернуть якорь 2. Это положение сохранится до тех

пор, пока напряжение генератора не достигнет установленного значения  $U_r$ . Ток возбуждения к этому моменту будет иметь наибольшее значение, определяемое уравнением

$$I_{в. max} = \frac{U_r}{R_{ОВ} + R_{ст. min}}, \quad (2.1)$$

где  $R_{ОВ}$  — сопротивление обмотки возбуждения, Ом;  
 $R_{ст. min}$  — сопротивление сжатого угольного столба, Ом.

Если напряжение генератора превысит установленное значение (при увеличении скорости или уменьшении нагрузки), то якорь, преодолев сопротивление пружины и силы сопротивления в подшипниках, начнет поворачиваться против часовой стрелки, растягивая угольный стол и увеличивая его сопротивление  $R_{ст.}$ , включаемое в цепь обмотки возбуждения ОВ (см. рис. 2.2).

Ток возбуждения  $i_B$  уменьшится, а напряжение генератора возвратится к заданному уровню. Восстановится прежнее значение магнитного потока в ярме. Силы, действующие на якорь, уравниваются, и он остановится во вновь занятом положении. Такое равновесие при прежнем значении магнитного потока в ярме в новом положении якоря, соответствующем изменившемуся усилию пружины 3 при ее дополнительном растяжении, удастся сохранить благодаря специальной лекальной линейке, закрепленной на траверсе якоря 7, меняющей плечо приложения силы пружины к якорю при его повороте. Демпфер 5 сглаживает возникающие колебаний якоря при переходных процессах.

Увеличение скорости движения  $V$  и частоты вращения  $n_r$  генератора сопровождается перемещением якоря в крайнее левое положение, при котором сопротивление столба достигнет наибольшего значения  $R_{ст. max}$ . Регулирующая способность столба при этом будет исчерпана, и дальнейшее повышение скорости вызовет увеличение напряжения генератора сверх установленного значения.

В процессе работы угольный столб нагревается, благодаря мощности, выделяющейся при протекании по нему тока воз-

буждения. Наибольшее ее значение можно определить по уравнению

$$P_{\text{ст. max}} = \frac{U_{\text{r}}^2}{4R_{\text{OB}}}. \quad (2.2)$$

Нагрев столба вызывает уменьшение его сопротивления, что необходимо учитывать при оценке возможностей регулятора.

Для регулятора 56/62.29 упомянутые выше параметры имеют следующие значения:  $R_{\text{ст. min}} = 8 \text{ Ом}$ ,  $R_{\text{ст. max}} = 230 \text{ Ом}$ ,  $P_{\text{ст. max}} = 200 \text{ Вт}$ . Наименьшее сопротивление дается для сжатого столба в холодном состоянии, наибольшее – для нагретого в распущенном состоянии. Кроме названных параметров контролю подлежит и уровень напряжения, поддерживаемый регулятором (уставка регулирования).

Принципиальная схема исследуемого РНГ приведена на рис. 2.2. Там же показаны и места включения измерительных приборов.

В схеме регулятора 56/62.29 (см. рис. 2.2) обмотка возбуждения ОБ включена последовательно с угольными столбами, показанными в виде одного переменного сопротивления  $R_{\text{ст}}$ .

#### **4. Объем работы**

4.1. Ознакомиться с конструкцией РНГ, предложенного для испытаний и методикой замера его основных параметров и регулировкой.

4.2. Замерить параметры и снять характеристики регулятора. Сделать заключение о его техническом состоянии.

4.3. Проанализировать основные неисправности РНГ и формы их проявления, предложив методику поиска отказа.

4.4. Ответить на контрольные вопросы.

#### **5. Порядок проведения и оформления работы**

5.1. Зарисовать и собрать по заданию преподавателя испытательную схему (см.рис. 2.2). Приборы, включенные в схемы, контролируют:

$PA_{\text{p}}$  – ток  $i_{\text{p}}$  регулятора;

$PA_{\text{в}}$  – ток  $i_{\text{в}}$  возбуждения;

$PU_{\Gamma}$  – напряжение  $U_{\Gamma}$  генератора;

$PU_{\text{В}}$  – напряжение  $U_{\text{В}}$  обмотки возбуждения.

5.2. Отключить обмотку возбуждения ОВ. Для этого в схеме регулятора (см. рис. 2.2) снять провода с вывода +5 (Е) РНГ. Плавно увеличивая напряжение  $U_{\Gamma}$  на выходе схемы, отметить его значение  $U_{\Gamma 1}$ , при котором якорь начнет перемещаться из начального положения.

Продолжая увеличивать напряжение, отметить значение  $U_{\Gamma 2}$ , при котором якорь достигнет крайнего левого положения. Уменьшить напряжение до нуля и повторить опыт 3–4 раза. Используя уравнение,

$$U_{\text{р}} = \frac{U_{\Gamma 1} + U_{\Gamma 2}}{2}.$$

рассчитать уставку  $U_{\text{р}}$  регулятора в каждом опыте и найти ее среднее значение.

Данные замеров и расчетов свести в табл. 2.1. Сравнить полученные значения уставки с величиной, заданной преподавателем. Привести при необходимости регулировку и повторно проверить значение уставки.

Таблица 2.1.

**Результаты эксперимента по определению уставки РНГ**

Экспериментальные данные			Результаты расчета		
$U_{\Gamma 1}$ , В	$U_{\Gamma 2}$ , В	$i_{\text{К}} = i_{\text{р}}$		$U_{\text{р}}$ , В	$U_{\text{р.ср}}$ , В
		дел	А		

5.3. Замкнуть цепь ОВ, восстановив разомкнутые (см.п. 5.2) провода регулятора. Плавно увеличивая напряжение  $U_{\Gamma}$ , фиксировать его на значениях  $1/3 U_{\text{р.ср}}$ ,  $2/3 U_{\text{р.ср}}$  и  $U_{\text{р.ср}}$ , записывая показания приборов в табл. 2.2

5.4. При значении напряжения равном  $U_{\Gamma} = U_{\text{р.ср}}$  повернуть вручную якорь на некоторый угол. Если при этом входное на-

пряжение отклонилось от значения  $U_{p,cp}$ , провести его регулировку, не меняя положения якоря. Зафиксировать показания всех приборов и записать в табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Результаты эксперимента по определению параметров РНГ**

Экспериментальные данные				Результаты расчета					
$U_r$ , В	$U_B$		$i_p$		$i_B$ , А	$R_{об}$ , Ом	$\Delta U_{ст}$ , В	$R_{ст}$ , Ом	$P_{ст}$ , Вт
	дел	В	дел	А					

5.5. Повторить операции п.5.4, перемещая якорь ступенями (6÷7ступеней) в крайнее левое положение, при котором сопротивление угольного столба будет иметь наибольшее значение  $R_{ст,max}$ . В каждом опыте величина  $U_r$  должна оставаться неизменной.

5.6. Снять напряжение, отключив схемы.

5.7. По полученным данным для каждого из зафиксированных значений тока возбуждения рассчитать параметры:  $\Delta U_{ст}$ ,  $R_{об}$ ,  $P_{ст}$ ,  $R_{ст}$ .

5.8. Построить зависимость  $R_{ст} = f(i_B)$ ,  $P_{ст} = f(i_B)$ .

5.9. Оформить отчет по работе, дав заключение по полученным результатам.

5.10. Анализируя основные неисправности регулятора, подготовить ответы на следующие вопросы:

1. Какие неисправности регулятора приведут к повышению выходного напряжения вращающегося генератора сверх установленного уровня, а какие не позволят ему достичь этого уровня?
2. Какие последствия будет иметь обрыв цепи питания катушки К1?
3. Как повлияет на работу регулятора закорачивание резистора  $R$  в цепи питания катушки К1?
4. Как влияют на работу генератора изменения значений  $R_{ст,min}$  и  $R_{ст,max}$ ?

## Лабораторная работа № 3

# ИССЛЕДОВАНИЕ УГОЛЬНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

1. **Цель работы** — ознакомиться с конструкцией, монтажной и принципиальной схемами включения угольного стабилизатора напряжения, освоить методику снятия характеристик и замера параметров, характеризующих его техническое состояние, изучить основные приемы осмотра, поиска неисправностей, наладки и регулировки.

2. **Объект исследования** — угольный стабилизатор напряжения типа 57/38.179, установленный на отдельном испытательном стенде.

### 3. **Краткие теоретические сведения и описание экспериментальной установки**

Угольный стабилизатор напряжения, носящий также название регулятор напряжения сети (РНС), предназначен для ограничения напряжения, подаваемого к сетям ламп накаливания. Уровень этого напряжения в вагонах без установок кондиционирования не должен превышать 54 В, а вагонах с такими установками — 110 В. Названные уровни напряжений должны поддерживаться РНС с допустимыми отклонениями  $\pm 2,5\%$ , которые характеризуют точность его регулирования.

По конструкции РНС напоминает РНГ. В этом можно убедиться, изучив его конструкцию, показанную на рис. 3.1.

Отличие его лишь в том, что на магнитопроводе РНС помещена одна управляющая обмотка  $K1$ , контролирующая напряжение в цепях ламп. Это видно и из принципиальной схемы, помещенной на рис. 3.2.

Применяемые в качестве исполнительных элементов три угольные столба  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  набраны из угольных колец толщиной 0,5 мм с наружным диаметром 56 мм и внутренним — 50 мм. Каждый столб рассчитан на мощность рассеивания  $P_{ст.маx}$  до 460 Вт.



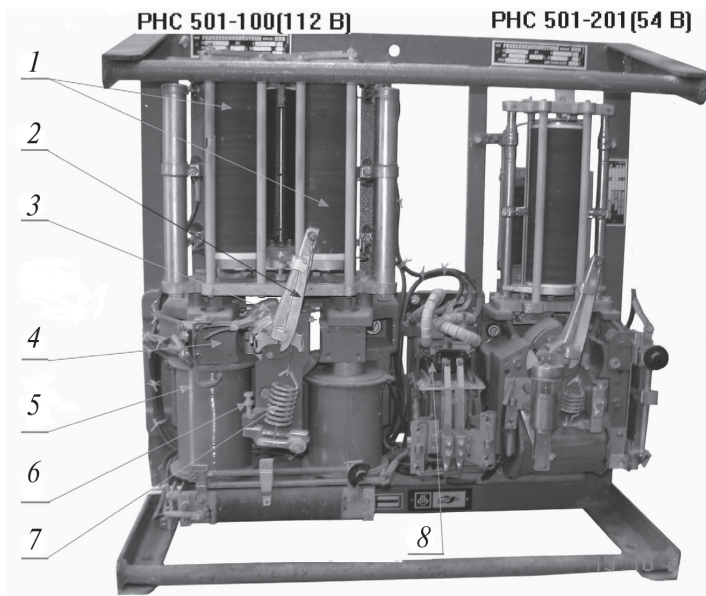


Рис. 3.1. Конструкция блока с регуляторами напряжения сети на разные напряжения:

1 — угольные столбы; 2 — лекальная линейка; 3 — поворотный якорь; 4 — ярмо магнитопровода; 5 — катушка магнитопровода; 6 — регулировочный винт; 7 — пружина; 8 — переключатель схемы соединения столбов

Схемой предусмотрена возможность автоматического переключения столбов с параллельного соединения на последовательное. Осуществляется это специальным двух катушечным реле К2. Питание к его катушкам подают контакты 1К1 и 2К1, механически связанные с якорем стабилизатора. Контакты реле 1К2 и 2К2 обеспечивают переключение столбов, а контакты 3К2 и 4К2 поочередно подают питание к его катушкам.

Принцип работы стабилизатора одинаков с принципом работы регулятора напряжения. Если входное напряжение не превышает установленный для ламп уровень выходного напряжения  $U_r$ , то столбы полностью сжаты, а все контакты на-

ходятся в состоянии, показанном на рис. 3.2. Сопротивление сжатого столбца имеет наименьшее значение  $R_{ст.мин}$ . Для рассматриваемого образца РНС оно равно  $\approx 0,75$  Ом. Общее же сопротивление трех параллельно соединенных столбов в этом случае составляет  $R'_{ст.мин} = 1/3 R_{ст.мин} = 0,25$  Ом.

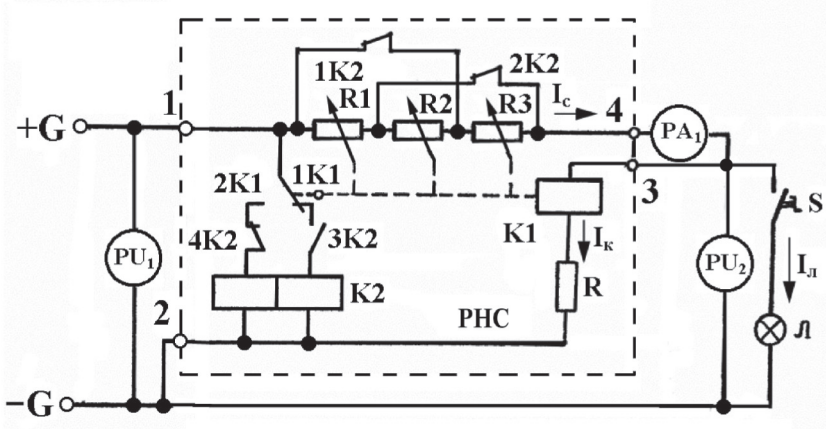


Рис. 3.2. Схема включения и испытаний регулятора напряжения сети (PHC)

Угольные столбы включаются в плюсовой провод (см. рис. 3.2), по которому питание подается к лампам Л. Ток столбов равен сумме токов ламп и катушки К1, то есть  $I_{ст} = I_{л} + I_{к}$ . Напряжение на лампах оказывается ниже входного напряжения на величину падения напряжения в столбах, которое определяется как  $\Delta U_{ст} = R'_{ст} (I_{л} + I_{к})$ .

В рассмотренный начальный период ни одна из катушек реле К2 питания не получает.

Если напряжение на лампах превысит установленное значение, то якорь начнет поворачиваться. Увеличится сопротивление столбов и падение напряжения на них. Напряжение на лампах уменьшится до заданного значения. Наибольшее сопротивление полностью растянутого столба равно  $R_{ст.маx} = 22,5$  Ом.

Начало поворота якоря стабилизатора приводит к размыканию контакта 1К1, который до этого (см. рис. 3.2) был замкнут. Если в процессе регулирования якорь дойдет до своего крайнего (левого) положения, когда сопротивление каждого столба имеет наибольшее значение, то замкнется контакт 2К1. Левая катушка (см. рис. 3.2) реле К2 через замкнутые контакты 2К1 и 4К2 получит питание. Его подвижная система перейдет в новое равновесное состояние, при котором контакты 1К2, 2К2, 4К2 разомкнутся, а контакт 3К2 замкнется.

Разомкнувшийся контакт 4К2 отключит питание соединенной с ним катушки реле К2. Подвижная система реле при этом не изменит своего положения. Контакт 3К2, замкнувшись, подготовит питание другой (правой по схеме) катушки этого же реле. Однако получить питание она сможет только тогда, когда якорь стабилизатора вернется в исходное положение (правое) и замкнется связанный с ним контакт 1К1.

Благодаря разомкнувшимся контактам 1К2 и 2К2, угольные столбы окажутся включенными последовательно, а их суммарное сопротивление увеличится в 9 раз. Падение напряжения на столбах скачком возрастет, вызвав снижение напряжения на лампах ниже установленного значения. Якорь повернется назад (по часовой стрелке) и остановится в промежуточном положении, при котором напряжение на лампах снова станет равным заданному значению. При продолжающемся росте напряжения генератора работа стабилизатора будет происходить при последовательном включении столбов.

В случае понижения напряжения генератора якорь будет поворачиваться по часовой стрелке. Дойдя до крайнего (правого) положения, когда сопротивление сжатых столбов снова станет наименьшим, он обеспечит замыкание контактов 1К1. При замкнутом контакте 3К2 это вызовет срабатывание реле К2, так как его правая (по схеме) катушка получит питание. Изменение состояния контактов реле возвратит схему в исходное состояние (см. рис. 3.2), с которого было начато описание ее работы.

К ранее названным параметрам  $R_{\text{ст.мин}}$  и  $R_{\text{ст.маx}}$ , характеризующим техническое состояние стабилизатора, следует отнести и допустимую мощность потерь в столбе  $P_{\text{ст.маx}}$  и уставку  $U_{\text{л}}$  регулирования. Для исследуемого образца РНС  $P_{\text{ст.маx}} = 460$  Вт, а  $U_{\text{л}} = 110$  В.

#### **4. Объем работы**

4.1. Ознакомиться с конструкцией РНС, методикой замера его основных параметров и регулировкой.

4.2. Замерить основные параметры и снять характеристики стабилизатора. Сделать заключение о его техническом состоянии.

4.3. Проанализировать основные неисправности РНС и формы их проявления, предложив методику поиска.

4.4. Ответить на контрольные вопросы.

#### **5. Порядок проведения и оформления работы**

5.1. Зарисовать и собрать схему испытаний (см. рис. 3.2). Приборы, включенные в схему, контролируют:  $PU_1$  – входное напряжение  $U_{\text{р}}$ ,  $PU_2$  – стабилизированное (выходное) напряжение  $U_{\text{л}}$ ,  $PA_1$  – ток  $I_{\text{ст}}$ , протекающий по угольным столбам.

5.2. При отключенной нагрузке, плавно увеличивая входное напряжение, замерить уставку регулирования. Использовать методику, изложенную в п.5.2 предыдущей лабораторной работы по исследованию РНГ. Сравнить полученный результат с заданной уставкой стабилизатора, оговоренной в п.3. При необходимости провести необходимую регулировку с помощью регулировочного винта и провести повторную проверку уставки.

5.3. При отключенной цепи нагрузки, плавно увеличивая с нуля входное напряжение  $U_{\text{г}}$ , провести все замеры при его отдельных фиксированных значениях (8÷10 точек). Увеличение входного напряжения производить до тех пор, пока напряжение на лампах не начнет увеличиваться сверх заданного значения  $U_{\text{л}}$ . Полученные результаты проведенных замеров свести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

**Результаты испытаний работы стабилизатора на холостом ходу**

Холостой ход								
$U_{\Gamma}$ , В	$U_{\text{л}}$		$I_{\text{ст}} (I_{\text{к}})$		$\Delta U$ , В	$I_{\text{л}}$ , А	$R_{\text{ст}}$ , Ом	$P_{\text{ст}}$ , Вт
	дел	В	дел	А				

5.4. Включить нагрузку и провести все операции, оговоренные в п.5.3. Полученные данные свести в отдельную таблицу 3.2, аналогичную приведенной ранее.

Таблица 3.2

**Результаты испытаний работы стабилизатора под нагрузкой**

Работа под нагрузкой								
Результаты эксперимента					Результаты расчета			
$U_{\Gamma}$	$U_{\text{л}}$		$I_{\text{ст}} (I_{\text{к}})$		$\Delta U$ , В	$I_{\text{л}}$ , А	$R_{\text{ст}}$ , Ом	$P_{\text{ст}}$ , Вт
	В	дел	В	дел				

5.5. Снизить входное напряжение до нуля. Отключить схему.

5.6. По полученным результатам эксперимента для каждого из режимов работы стабилизатора (под нагрузкой и без нагрузки) рассчитать параметры  $R'_{\text{ст}}$ ,  $R_{\text{ст}}$ ,  $U_{\text{ст}}$ ,  $P_{\text{ст}}$  соответствующие фиксировавшимся при эксперименте значениям входного напряжения.

5.7. Построить экспериментальные зависимости  $U_{\text{л}} = f(U_{\Gamma})$ ,  $R_{\text{ст}} = f(U_{\Gamma})$ ,  $P_{\text{ст}} = f(U_{\Gamma})$  для режимов работы стабилизатора на холостом ходу и под нагрузкой. Сравнить их между собой.

5.8. Оценить пределы изменения входного напряжения, при которых сохранится стабилизирующее действие РНС для разных токов нагрузки и допустимой мощности рассеяния угольных столбов.

5.9. Оформить отчет, сделав заключение о работоспособности стабилизатора.

5.10. Проанализировать основные неисправности стабилизатора, подготовив ответ на следующие вопросы:

1) Какие неисправности стабилизатора приведут к полной, а какие к частичной потере им своих стабилизирующих свойств?

2) Какие последствия вызовет обрыв цепи питания катушки К1, а какие — закорачивание резистора R в ее цепи?

3) Сохранится ли стабилизирующая способность РНС при обрыве цепи питания катушек К2?

## **Лабораторная работа № 4** **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДНОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ**

1. **Цель работы** — ознакомиться с конструктивными особенностями, монтажной и принципиальной схемами включения диодного ограничителя, освоить методику снятия характеристик и замера параметров, характеризующих его техническое состояние, изучить основные приемы осмотра, поиска отказов, наладки и регулировки.

2. **Объект исследования** — диодный ограничитель напряжения типа 2460.126 установленный на отдельном испытательном стенде и используемый в пассажирских вагонах импортного производства для питания цепей ламп накаливания.

3. **Краткие теоретические сведения и описания экспериментальной установки**

Диодный ограничитель (ДО) выполняет те же задачи, что и угольный стабилизатор напряжения, отличаясь от него схемой, конструктивным исполнением, также способом регулирования (стабилизации) выходного напряжения.

Представление о конструкции ДО, производства Германии дает рис. 4.1.

Схема ДО показана на рис. 4.2, а вместе с приборами, контролирующими его режим работы. Вместо угольных столбов в ДО использованы включенные последовательно полупроводнико-

вые диоды  $V_1 \div V_n$ . Каждая пара диодов смонтирована на отдельном охладителе (см. рис. 4.1). Для возможности такого монтажа один из диодов пары имеет прямую полярность (тип ВА 20П2), а другой – обратную (тип ВА 2002). Каждый диод рассчитан на ток 20 А и обратное напряжение 150 В. Вся последовательная цепочка диодов включена между выводами 1 и 4 ДО, о чем наглядно свидетельствует схема, помещенная на рис. 4.2, а.

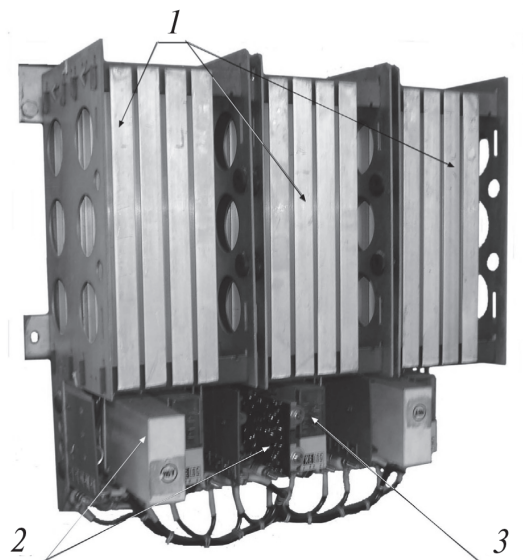


Рис. 4.1. Конструкция диодного ограничителя:

1 — охладители групп диодов; 2 — полупроводниковые блоки управления; 3 — исполнительные электромагнитные реле

Разделенные на три отдельные группы  $n_1 - n_3$  диоды с помощью контактов 1К1, 1К2, 1К3 могут быть поочередно введены в цепь питания ламп накаливания Л. При протекании тока  $I_{до}$  на каждом диоде падает определенное напряжение  $\Delta U_d$  (0,7-0,8 В). В результате выходное напряжение  $U_d$  на лампах будет ниже входного  $U_r$  на сумму падения напряжения во всех  $n_i$  последовательно включенных диодах, т.е.  $U_d = U_r - \Delta U_d \cdot n_i = U_r - \Delta U$ .

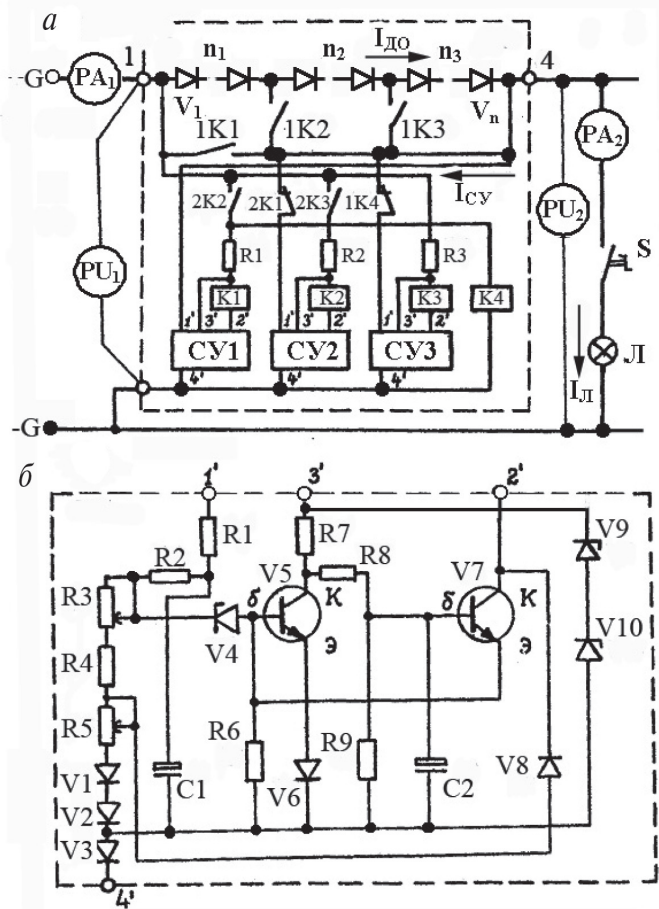


Рис. 4.2. Схема диодного ограничителя

При переключении контактов 1K1, 1K2 и 1K3 диоды вводятся в цепь отдельными группами по 18 штук, поэтому при плавном изменении входного напряжения выходное меняется скачками. Характер этих изменений между значениями  $U_{л.маx}$  и  $U_{л.мин}$  показан на рис. 4.3.

Эти предельные значения не должны отличаться от номинального значения  $U_{л.н}$  более чем на 10%. Для получения равно-



мерных ступеней регулирования количество диодов в каждой группе выбирают одинаковым.

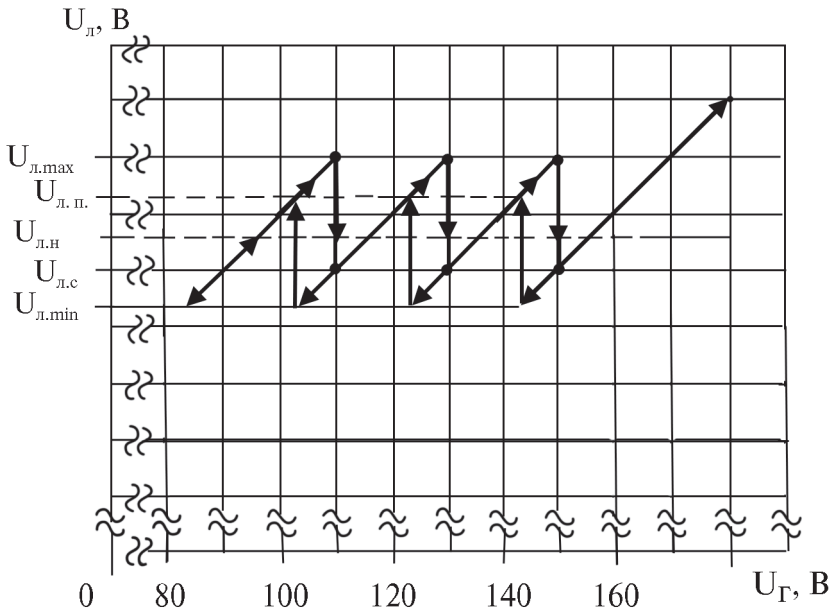


Рис. 4.3. Характер изменения напряжения на лампах накаливания при использовании диодного ограничителя

Необходимая последовательность включения реле К1, К2, К3 задается схемой управления, смонтированной в виде отдельных блоков СУ1, СУ2, СУ3, каждый из которых управляет своей группой диодов. Все блоки выполнены по одинаковой схеме, показанной на рис. 4.2, б.

Знакомство с принципом работы ДО следует начать с анализа работы одного из блоков управления. Блок начинает работать с подачи питания к его выводам. Если контролируемое напряжение на лампах (см. точки 1' и 4' на рис. 4.2, а, б) не превышает наибольшего установленного значения  $U_{л.маx}$ , то стабилитрон V4 закрыт. Транзистор V5 заперт, так как на его базу (б) не поступает сигнал управления. Транзистор V7 в этом случае открыт, так как через резисторы R7, R8 и R6 по его переходу база

(б) — эмиттер (Э) протекает ток управления. Исполнительное реле (см. рис. 4.2, а), соединенное с выводом 2', получает питание, а его контакты, замыкаясь, выводят из работы одну из групп диодов. Кроме того, при открытом транзисторе V7 резистор R6 через диод V8 оказывается включенным параллельно цепи резистора R5 с диодами V1, V2.

Если напряжение между точками 1' и 4' превысит значение  $U_{л.маx}$ , то пробьется стабилитрон V4. Транзистор V5 откроется, так как по его цепи база — эмиттер потечет ток управления. В этом случае база транзистора V7 окажется через резистор R8, открытый коллекторно (К) — эмиттерный (Э) переход транзистора V5 и диоды V6 и V3 соединенной с выходом 4' (минусом). Благодаря падению напряжения на резисторе R6 (при открытом стабилитроне V4), эмиттер (Э) транзистора V7 окажется под более высоким потенциалом, чем его база. Транзистор V7 закроется. Цепь питания катушки исполнительного реле, подключенного к выводу 2', оборвется. Отключившись, это реле разомкнет свой контакт, и в цепь питания ламп будет введена группа диодов. Одновременно при закрытом транзисторе V7 резистор R6 окажется отключенным от цепи резистора R5 с диодами V1 и V2. Общее сопротивление измерительной цепи возрастет, и увеличится напряжение, подводимое к стабилитрону V4. Теперь уже стабилитрон V4 сможет закрыться, обеспечив возвращение схемы в состояние, с которого было начато описание ее работы, при более низком напряжении  $U_{л.мин}$  между выводами 1' и 4'. Для предотвращения звонковой работы схемы это напряжение должно быть меньше значения  $U_{л.с.}$  (см. рис. 4.3), до которого снижается выходное напряжение при введении одной группы диодов.

Напряжение срабатывания блока СУ регулируется с помощью резисторов R3 и R5 (см. рис. 4.2, б).

Схема ДО (см. рис. 4.2, а) работает следующим образом. При наличии входного напряжения +G его положительный потенциал с вывода 1 через резистор R3 поступает к катушке реле K3, через диоды  $V_1 - V_n$  — к выводу 4 и к входным цепям 1' всех трех блоков управления (СУ1, СУ2, СУ3). Это возможно, так как в первый момент контакты 2K1 и 1K4 замкнуты. Минус пи-

тающего напряжения с вывода  $-G$  подается непосредственно на выводы  $4'$  всех блоков.

Если входное напряжение ниже верхнего уровня стабилизации ( $U_{г} < U_{л.маx}$ ), то получит питание катушка К3 (см. описание работы блока СУ). Реле сработает, и его контакт 1К3, замкнувшись, закоротит треть диодов (группа  $n_3$ ). Вторым замкнувшийся контакт 2К3 этого же реле подаст питание к выводам  $2'$  и  $3'$  блока СУ2.

Включится реле К2. Его замкнувшийся контакт 1К2 закоротит две группы диодов ( $n_2$  и  $n_3$ ), а контакт 2К2 подаст питание к катушкам реле К1 и К4, обеспечив их включение. Контакт 1К4 разомкнется, отключив измерительную цепь блока СУ3. Реле К3 при этом останется включенным. Разомкнувшийся контакт 2К1 реле отключит измерительную цепь блока СУ2. Замкнувшийся же контакт 1К1 закоротит все группы диодов, соединив выводы 1 и 4. Выходное напряжение будет подано непосредственно к выходным цепям, а контроль за уровнем их напряжения будет обеспечиваться только блоком СУ1, у которого включены все цепи питания и измерения.

При росте входного напряжения наступит момент, когда равное ему выходное напряжение достигнет значения  $U_{л.маx}$ . Сработает блок СУ1, прекратив подачу питания к катушке К1. Контакт 1К1 разомкнется, в цепь нагрузки введется группа диодов  $n_1$ , а напряжение на выходе скачком снизится до значения  $U_{л.с}$  (см. рис. 4.3). Одновременно замкнется контакт 2К1 в измерительной цепи блока СУ2, который с этого момента будет контролировать выходное напряжение вместе с блоком СУ1. В случае последующего снижения напряжения до значения  $U_{л.миn}$  (см. рис. 4.3) блок СУ1 обеспечит возвращение схемы в исходное состояние. В случае же повышения напряжения до уровня  $U_{л.маx}$  блок СУ2 отключит реле К2. В цепь питания нагрузок будет введена еще одна группа диодов  $n_2$ , и выходное напряжение снизится до уровня  $U_{л.с}$ . Цепь питания блока СУ1 (см. точки  $2'$  и  $3'$ ) и реле К4 отключится (разомкнется 2К2), а блок СУ3 будет подготовлен к работе (замкнется 1К4). Подробно разобраться с последующим поведением схемы при изменении входного напряжения студентам предлагается самостоятельно. Отметим

лишь, что для рассматриваемого образца ДО отмеченные на диаграмме рис. 4.3 граничные значения напряжений должны составлять  $U_{л.маx}=115 \pm 0,5$  В,  $U_{л.мин} = 95 \pm 0,5$  В,  $\Delta U = 13,5 \pm 0,9$  В при нагрузке диодов 1А.

#### 4. Объем работы

4.1. Ознакомиться с конструкцией ДО, методикой замера его основных параметров и регулировкой.

4.2. Замерить основные параметры ДО, снять его характеристики. Сделать заключение о его техническом состоянии, при необходимости провести регулировку.

4.3. Проанализировать неисправности схемы и схем управления, указав формы их проявления и предложив методику поиска.

4.4. Ответить на контрольные вопросы.

#### 5. Порядок проведения и оформления работы

5.1. Зарисовать и собрать схему испытаний (см. рис. 4.2, а). Приборы, включенные в схему, контролируют:  $PU_1$  – входное напряжение  $U_r$ ,  $PA_1$  – ток  $I_{до}$  диодного ограничителя,  $PU_2$  – стабилизированное (выходное) напряжение  $U_{л}$ ,  $PA_2$  – ток нагрузки  $I_{л}$ .

5.2. Отключить нагрузку. Плавно увеличивая входное напряжение, убедиться в том, что до включения первой ступени регулирования напряжения на входе и выходе ДО равны. Зафиксировать показания приборов при двух, трех значениях  $U_r < U_{л.маx}$ . Данные свести в табл. 4.1.

Таблица 4.1  
Результаты испытаний работы ДО

Результаты экспериментальных замеров				Результаты расчетов			
$U_r$ , В	$U_{л}$		$I_{до}$		$\Delta U$ , В	$I_{л}$ , А	$P_{л}$ , Вт
	деления	В	деления	А			

Продолжая повышать входное напряжение, зафиксировать верхнее  $U_{л.маx}$  и нижнее  $U_{л.с}$  значения напряжения каждой ступени.

пени включения. Напряжение повышать до тех пор, пока его значение на выходе ДО не начнет превышать  $U_{л.маx}$  (после срабатывания третьей ступени).

Плавно уменьшая входное напряжение, зафиксировать верхние  $U_{л.п}$  и нижние  $U_{л.мин}$  границы ступеней. Результаты измерений также свести в таблицу 4.1.

5.3. Включить нагрузку, установив  $I_{л} = 1$  А. Провести объем работ, предусмотренный п.5.2. Сравнить полученные значения  $U_{л.мин}$ ,  $\Delta U$ ,  $U_{л.маx}$  с требуемыми. В случае их несоответствия провести регулировку блоков СУ с помощью резисторов  $R3$  и  $R5$ .

5.4. Построить зависимости  $U_{л} = f(U_{г})$  и  $P_{л} = f(U_{г})$ , сравнив их с аналогичными зависимостями, полученными при обследовании угольного стабилизатора.

5.5. Оформить отчет, сделав заключение о работоспособности ограничителя.

5.6. Подготовить ответы на следующие вопросы:

1) Какие последствия вызовет обрыв цепи стабилизатора  $V4$  в блоке СУ?

2) Какие причины могут вызвать переход ДО с трехступенчатого режима работы на двухступенчатый?

3) Изменится ли работа ДО при обрыве цепи питания катушки реле  $K4$ ?

4) Что может явиться причиной звонковой работы исполнительного реле ( $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ) блока СУ?

## **Лабораторная работа № 5** **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ** **ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ**

1. **Цель работы** — ознакомиться с назначением, принципом работы, конструкцией и схемой реле максимального напряжения (РМН), освоить методику проверки выходных параметров и регулировку.

2. **Объект исследования** — блок РМН типа ESU 11/350, устанавливаемый в АСЭС пассажирского вагона с номинальным напряжением 110 В. Общий вид испытуемого блока представлен на рис. 5.1.

*a*



*б*

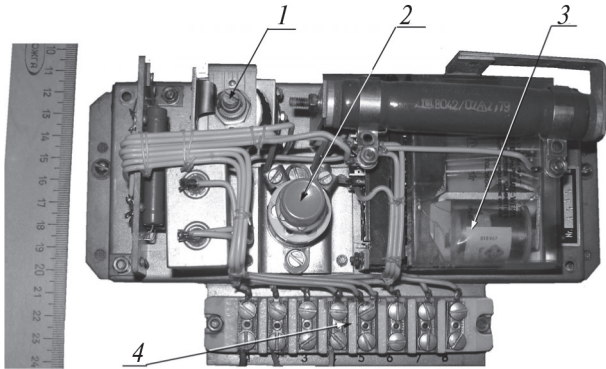


Рис. 5.1. Конструкция РМН типа ESU 11/350-1 производства Германии:

*a* — кожух закрыт; *б* — кожух снят; 1 — резистор для регулировки уровня срабатывания защиты; 2 — кнопка восстановления защиты; 3 — поляризованное реле; 4 — панель для подсоединения внешних цепей; 5 — защитный кожух реле

Блок смонтирован на отдельном испытательном стенде (для испытаний студентам может быть предложен и блок защиты типа 2450.052, также смонтированный на отдельном стенде).

### 3. Краткие теоретические сведения и описание экспериментальной установки

РМН обеспечивает защиту вагонных потребителей от перенапряжений, источником которых является генератор. Крат-

ковременные (до 20 мс) перенапряжения возникают на выходе генератора при отключении отдельных (мощных) потребителей, и является результатом проявления ЭДС самоиндукции, наводимой в цепи якорной обмотки при скачкообразном изменении тока. Длительные перенапряжения имеют место, как правило, при отказах регулирующей аппаратуры (РНГ).

Благодаря демпфирующему действию аккумуляторной батареи амплитуда кратковременных импульсных перенапряжений превышает рабочее напряжение лишь на 20÷40%. Для потребителей они не опасны и не должны вызывать срабатывание защиты. Исключение составляют импульсные перенапряжения, сопровождающие обрыв цепи зарядного тока аккумуляторной батареи, что имеет место при перегорании плавкой вставки предохранителя в ее цепи. Амплитуда таких перенапряжений может более чем в два раза превысить рабочее напряжение и привести к повреждению ламп накаливания. Такие перенапряжения должны вызывать срабатывание защиты.

Длительные перенапряжения опасны для всех без исключения вагонных потребителей, поэтому защита должна срабатывать, даже если они незначительно (на 10–20%) превосходят рабочее напряжение.

Уставку (уровень) срабатывания РМН рекомендовано устанавливать в пределах  $80\pm 2$  В и  $185\pm 4$  В или  $165\pm 2$  В. Первое значение применимо для вагонов с номинальным напряжением 50 В, следующие два — для 110 В. Разные уровни срабатывания устройств защиты в вагонах с номинальным напряжением 110 В устанавливаются в зависимости от модификации РМН. Переход на быстродействующие полупроводниковые РНГ и устройства защиты позволяет снизить уровень срабатывания РМН до 150÷155 В.

К параметрам, характеризующим свойства защиты, кроме уставки срабатывания следует отнести и время срабатывания. Оно измеряется от момента, при котором контролируемое напряжение достигает уставки, до момента размыкания контактов исполнительного реле. При отказе РНГ скорость нарастания выходного напряжения генератора в зависимости от его типа

достигает  $350 \div 750$  В/с. Поэтому за время срабатывания РМН напряжение генератора может заметно превысить уставку. Полное время срабатывания защиты не должно превышать 0,1 с.

В АСЭС находят применение разные типы устройства защиты от перенапряжения как отечественного (2БЗ.003, БТЗ, БЗ), так и импортного (2450.52, ESU 5/350, ESU 11/350 и др.) производства. Однако, несмотря на имеющиеся у них схемные и конструктивные различия, порядок их воздействия на АСЭС одинаков.

Электрическая схема блока РМН типа ESU, предлагаемого для испытаний в лабораторной работе, показана на рис. 5.2.

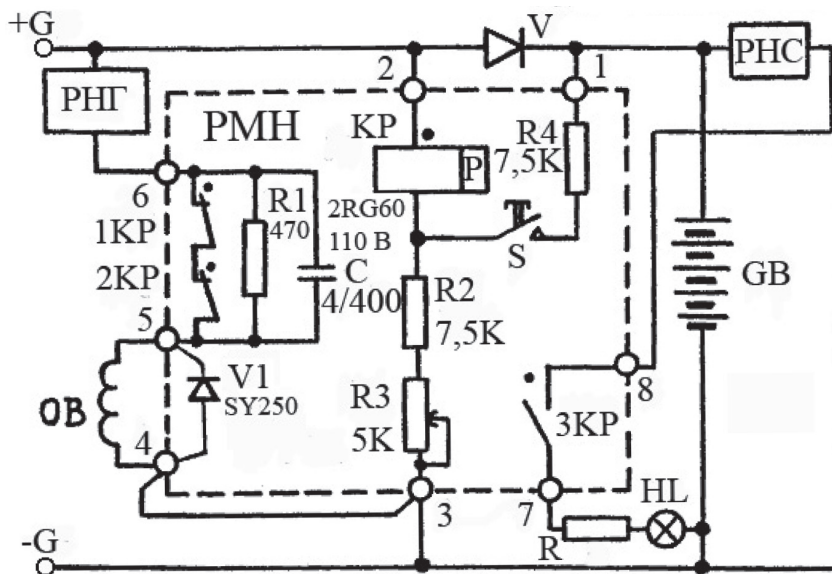


Рис. 5.2. Схема внутренних цепей и внешних соединений реле максимального напряжения типа ESU11/350

Основу блока, все элементы которого на рис. 5.2 обведены пунктирной линией, составляет поляризованное реле КР, контролирующее напряжение генератора (см. выводы 2 и 3). Размыкающие контакты (1КР, 2КР) реле через выводы 5 и 6 включаются в цепь питания обмотки возбуждения (ОВ) генератора.



Реле срабатывает, как только напряжение на выходе генератора (выводы 2 и 3) достигает установленного значения. Контакты 1КР и 2КР размыкаются, и в цепь обмотки возбуждения *ОВ* вводится сопротивление резистора *RI*. Генератор развозбуждается, и его выходное напряжение становится значительно ниже рабочего. О срабатывании РМН дополнительно свидетельствует и светящаяся сигнальная лампа НЛ.

Особенность поляризованного реле КР состоит в том, что после срабатывания его якорь остается притянутым к магнитопроводу даже при последующем снятии напряжения питания с выводов 2 и 3. Это исключает самопроизвольное восстановление питания обмотки возбуждения после снижения напряжения генератора.

Восстановление реле разрешается производить только на стоянке. Для этого необходимо нажать кнопку *S*, что обеспечит протекание по катушке *КР* тока обратной полярности от аккумуляторной батареи *GB*. Якорь реле вернется в исходное положение (не притянут к магнитопроводу). Контакты 1КР и 2КР замкнутся, восстановив цепь питания *ОВ*.

Реле должно надежно восстанавливаться при наименьшем напряжении аккумуляторной батареи. В АЭС вагонов с холодильными установками (с/к) это напряжение равно 84 В, в вагонах, не имеющих таких установок – 40 В. Этот параметр также подлежит проверке при регулировке РМН.

Схема испытательного стенда показана на рис. 5.3.

Напряжение, подводимое к блоку РМН, можно регулировать с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР), не показанного на рисунке. После выпрямления и сглаживания напряжение поступает на потенциометр  $R_p$ , с помощью которого обеспечивается вторая ступень регулирования. Переключатель *S1* служит для подачи напряжения к схеме РМН. Для восстановления защиты переключатель *S2* необходимо перевести в верхнее «В» положение. В этом случае «плюс» питающего напряжения подается к выводу 1, а «минус» к выводу 2 РМН. Для восстановления защиты необходимо нажать кнопку *S*.

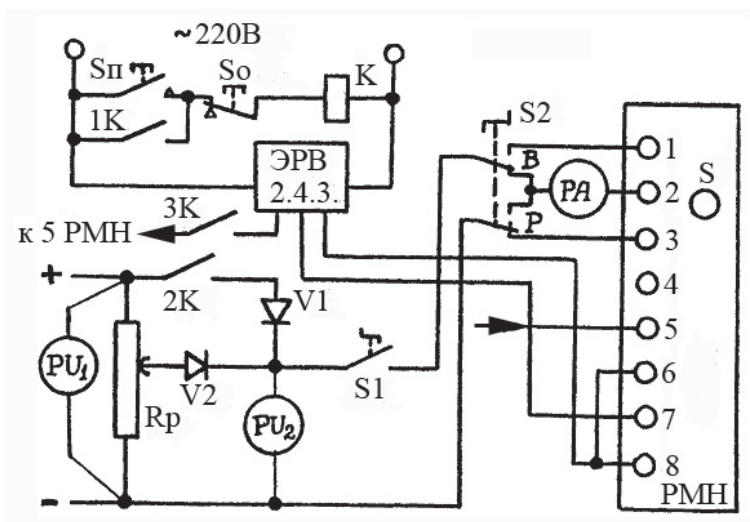


Рис. 5.3. Схема испытательного стенда для оценки параметров РМН

Для оценки времени срабатывания защиты использовано электронное реле времени (ЭРВ). После нажатия пусковой кнопки  $S_{п}$  срабатывает реле  $K$ . Замыкающиеся при этом его контакты запускают секундомер. После срабатывания защиты и изменения состояния ее контактов  $1KР - 3KР$  останавливается отсчет секундомера.

#### 4. Объем работы

4.1. Ознакомиться с конструкцией и принципиальной схемой блока защиты, а также с особенностями схемы испытательного стенда.

4.2. Усвоить методику замера и регулировки параметров РМН.

4.3. Ответить на контрольные вопросы.

#### 5. Порядок проведения и оформления работы

5.1. Зарисовать схему цепей РМН (см. рис. 5.2) и схему испытаний (см. рис. 5.3). Приборы стенда позволяют контролировать напряжение первой ступени –  $PU_1$ , напряжение второй ступени –  $PU_2$ , ток, потребляемый реле –  $PA$ .

5.2. С помощью ЛАТРа установить входное напряжение первой ступени равным нулю, а движок потенциометра переместить в крайнее верхнее положение.

5.3. Переключатель S2 перевести в нижнее рабочее положение «Р». Замкнуть контакты S1. По положению якоря реле (при снятом защитном кожухе блока) убедиться в том, что защита восстановлена. Если якорь реле притянут к магнитопроводу, то восстановить РМН, проведя операции, описанные в п. 5.5.

5.4. С помощью ЛАТРа плавно увеличить напряжение до значения, при котором срабатывает РМН. Зафиксировать показания всех приборов. Сравнить показания вольтметров  $PU_1$  и  $PU_2$ .

5.5. Перемещая движок потенциометра  $R_p$ , установить на вольтметре  $PU_2$  напряжение  $60 \div 70$  В. Перевести переключатель S2 в положение «В». Нажатием кнопки S восстановить защиту, проконтролировав выполнение процесса по изменению положения якоря реле КР. Вернуть переключатель S2 в исходное положение «Р».

5.6. Контролируя по вольтметру  $PU_2$  напряжение второй ступени, установить с помощью потенциометра  $R_p$  его значение на  $15 \div 20\%$  ниже напряжения первой ступени. Нажатием кнопки  $S_n$  обеспечить скачкообразное изменение напряжения на входе РМН и включение секундомера. Зафиксировать показания всех приборов и секундомера.

5.7. Нажав кнопку  $S_o$ , отключить первую ступень напряжения от блока РМН и повторить операции п.5.5 по восстановлению защиты.

5.8. Повторить операции п.п.5.2.+5.7 два три раза. Сравнить полученные результаты с требованиями, предъявляемыми к РМН. При необходимости осуществить с помощью резистора R3 (см. рис. 5.2) регулирование уставки.

5.9. Оформить отчет, сделав заключение о готовности РМН к работе.

5.10. Подготовить ответы на следующие вопросы:

1) Какими свойствами обладает поляризованное реле?

2) Можно ли в рассмотренной схеме РМН заменить поляризованное реле обычным?

3) Какие параметры генератора определяют уровень его выходного напряжения после срабатывания РМН?

4) Как оценить остаточное напряжение на выводах генератора типа DUGG – 28 В, вращающегося с наибольшей частотой, при срабатывании РМН?

*Приложение*

**Описание порядка работы с программой «Генератор»  
при проведении лабораторной работы по исследованию  
характеристик вагонных генераторов автономных систем  
электрообеспечения пассажирских вагонов**

Запуск программы производится двойным щелчком по ярлыку программы на рабочем столе Windows.



## **ГЛАВНОЕ ОКНО**

Кнопка «Ввод» открывает окно для ввода данных о месте проведения лабораторной работы, преподавателе, списке студентов, приступающих к выполнению лабораторной работы.

*Примечание.* Для того, чтобы перейти в окно ввода данных, необходимо ввести пароль доступа (вводится преподавателем). Если пароль введен правильно, то после нажатия кнопки «ОК» переход в окно ввода данных будет произведен автоматически.

### **«Открыть»**

Кнопка «Открыть» вызывает стандартное диалоговое окно Windows для открытия файлов с расширением .txt (текстовых файлов).



«Ввод»

«Сохранить как»

Кнопка «Сохранить как» вызывает стандартное диалоговое окно Windows для сохранения результатов лабораторной работы (файлы сохраняются в формате текстовых файлов без форматирования с расширением .txt).

«Печать»

Кнопка «Печать» вызывает стандартное диалоговое окно Windows для печати результатов лабораторной работы (можно распечатать либо весь файл, либо выделенный фрагмент).

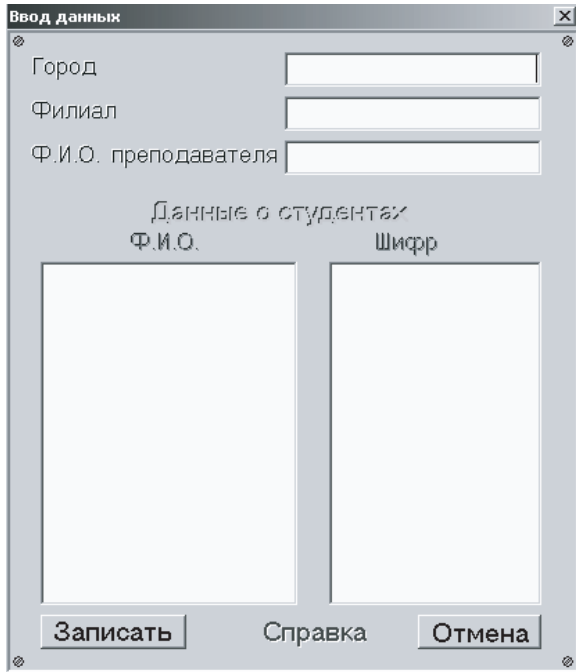
«О программе»

Кнопка «О программе» вызывает About-окно с информацией о программе.

«Выход»

Кнопка «Выход» завершает работу программы.

## Окно «Ввод данных»



Ввод данных

Город

Филиал

Ф.И.О. преподавателя

Данные о студентах

Ф.И.О.

Шифр

Записать Справка Отмена

«Город»

В поле ввода «Город» вводится название города, где происходит выполнение лабораторной работы.

Данное поле должно быть заполнено обязательно.

«Филиал»

В поле ввода «Филиал» вводится название филиала, где происходит выполнение лабораторной работы.

Данное поле должно быть заполнено обязательно (при необходимости можно поставить дефис).

«Преподаватель»

В поле ввода «Преподаватель» вводится фамилия преподавателя, руководившего выполнением лабораторной работы.

Данное поле должно быть заполнено обязательно.

### «Ф.И.О.»

В поле ввода «Ф.И.О.» в столбец вводятся фамилии студентов, допущенных к проведению лабораторной работы.

Данное поле должно быть заполнено обязательно.

### «Шифр»

В поле ввода «Шифр» в столбец вводятся шифры студентов, допущенных к выполнению лабораторной работы.

Данное поле должно быть заполнено обязательно.

**Внимание.** Поля ввода «Ф.И.О.» и «Шифр» взаимосвязаны друг с другом, поэтому фамилия каждого студента должна находиться на одной строчке с его шифром, например так, как показано в таблице.

Ф.И.О.	Шифр
Петров П.П.	94-В-123456
Иванов И.И.	95-В-987654

### «Записать»

Кнопка «Записать» предназначена для проверки корректности ввода данных, внесенных в поля записей окна «Ввод данных».

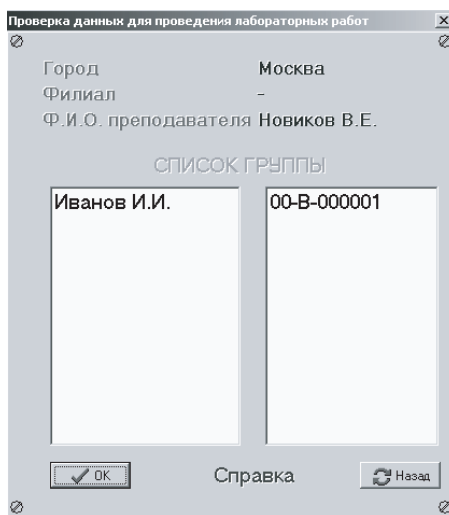
При корректно введенной информации выдается информационная панель «Данные введены успешно» и происходит автоматический переход в окно «Проверка данных для проведения лабораторных работ».

При некорректно введенной информации выдается информационная панель «Данные введены неправильно».

### «Отмена»

Кнопка «Отмена» возвращает пользователя в главное меню программы.

## Окно «Проверка данных для проведения лабораторных работ»



Данное окно предназначено для проверки введенных данных перед занесением их в память программы.

### «ОК»

Кнопка «ОК» производит запись введенных данных в память программы и осуществляет автоматический переход в видоизмененное главное окно программы.

### «Назад»

Кнопка «Назад» возвращает пользователя в окно «Ввод данных», для корректировки данных.

## ВИДОИЗМЕНЕНИЯ ГЛАВНОГО ОКНА

В правом верхнем углу главного окна появляется название лабораторной работы.

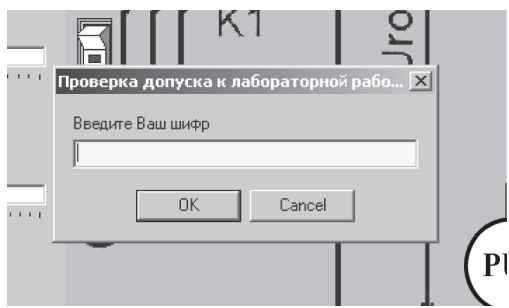
Для того, чтобы начать выполнять лабораторную работу, необходимо произвести щелчок левой кнопкой мыши по назва-



нию лабораторной работы, переход в окно «Исследования генераторов продольного поля» будет осуществлен автоматически.



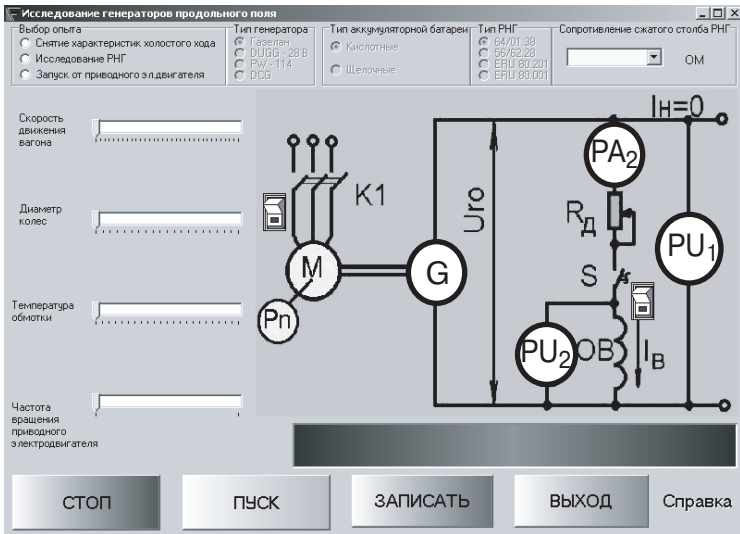
Окно «Исследование генераторов продольного поля»



### «Проверка допуска к лабораторной работе»

В поле ввода «Проверка допуска к лабораторной работе» студенту необходимо ввести свой шифр. После ввода шифра и нажатия кнопки «OK» программа сверит полученный шифр с имеющимися в ее памяти (введенных в поле ввода шифров студентов), и в случае положительного результата свяжет шифр студента с соответствующей ему фамилией. В случае нажатия кнопки «Cancel» программа продолжит свою работу в демонстрационном режиме, т.е. при выводе итогов работы с программой не будут указаны личные данные студента (Ф.И.О., шифр), производившего измерения. В остальном же работа программы будет происходить нормально.

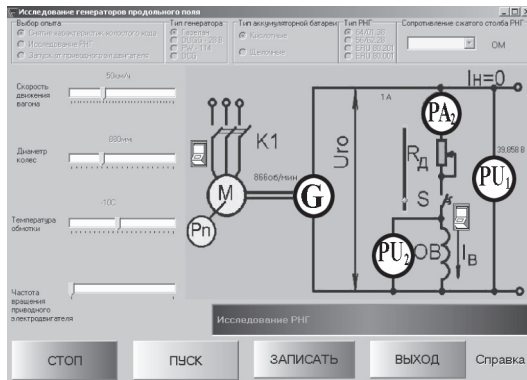
## Рабочее поле окна «Исследование вагонного генератора продольного поля»



### «Выбор опыта»

Окно «Выбор опыта» дает возможность выбора между экспериментами. До тех пор, пока не выбран тип эксперимента, другие элементы управления окна недоступны.

### «Снятие характеристик холостого хода»



*Активные элементы управления:*

- поле выбора «Тип генератора»;
- регулятор «Скорость движения вагона»;
- регулятор «Диаметр колес»;
- регулятор «Температура обмотки».

#### **«Тип генератора»**

В поле выбора «Тип генератора» студенту необходимо отметить тот тип генератора, для которого будут сниматься характеристики

#### **«Скорость движения вагона»**

С помощью регулятора «Скорость движения вагона» студент устанавливает скорость движения вагона для снятия характеристик с включенной обмоткой возбуждения.

#### **«Диаметр колес»**

С помощью регулятора «Диаметр колес» студент устанавливает диаметр колесных пар вагона для снятия характеристик с включенной обмоткой возбуждения.

#### **«Температура обмотки»**

С помощью регулятора «Температура обмотки» студент устанавливает температуру обмотки возбуждения (температуру окружающей среды).

### **ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА**

#### **«СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОСТОГО ХОДА»**

С помощью активных элементов управления установить тип исследуемого генератора, скорость движения вагона, диаметр колесных пар, температуру окружающей среды.

После того, как установлены исходные параметры, нажати-ем кнопки «ПУСК» начинается процесс моделирования работы генератора.

При замыкании контакта «S» на схеме появляется реостат, с помощью которого выставляется величина тока возбуждения.

*Частота вращения генератора* выводится около его изображения на схеме.

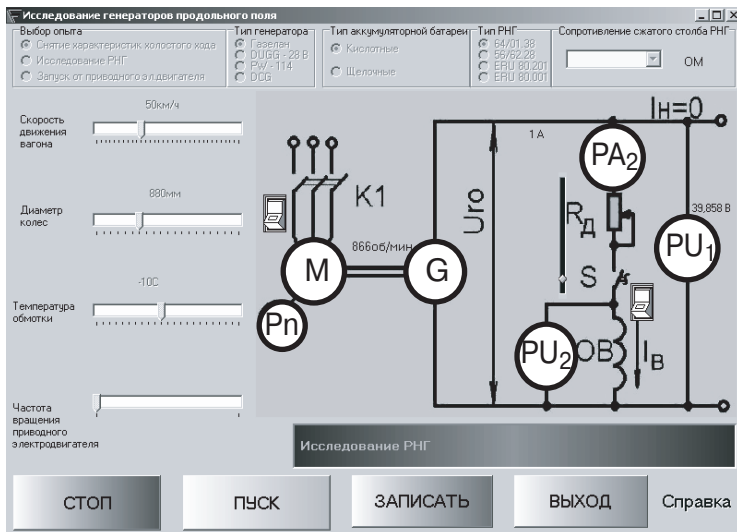
*Величина тока возбуждения* выводится около изображения амперметра  $PA_2$ .

*Величина напряжения генератора* выводится около изображения вольтметра  $PU_1$ .

С помощью кнопки «ЗАПИСАТЬ» программа вписывает значения тока возбуждения и напряжения генератора в поле результатов, для возможности дальнейшего сохранения в итоговом файле лабораторной работы.

Закончить эксперимент необходимо кнопкой «СТОП».

### «Исследование РНГ»



*Активные элементы управления:*

- поле выбора «Тип генератора»;
- поле выбора «Тип аккумуляторной батареи»;
- поле выбора «Тип РНГ»;
- поле выбора «Сопротивление РНГ»;

- регулятор «Скорость движения вагона»;
- регулятор «Диаметр колес»;
- регулятор «Температура обмотки».

#### **«Тип аккумуляторной батареи»**

В поле выбора «Тип аккумуляторной батареи» студенту необходимо отметить тип аккумуляторной батареи, совместно с которой будет работать генератор.

#### **«Тип РНГ»**

В поле выбора «Тип РНГ» студенту необходимо отметить тип угольного регулятора напряжения генератора, который будет включен в схему эксперимента.

#### **«Сопротивление сжатого столба РНГ»**

В выпадающем списке «Сопротивление сжатого столба РНГ» студентам необходимо установить начальное сопротивление столба РНГ.

**Внимание.** Если не установить начальное сопротивление столба РНГ, программа сделает это методом случайного выбора.

### **ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА «ИССЛЕДОВАНИЕ РНГ»**

Установив необходимые параметры, нажать кнопку «ПУСК».

*Частота вращения генератора* выводится около его изображения на схеме.

*Величина тока возбуждения* выводится около изображения амперметра *РА2*.

*Величина напряжения генератора* выводится около изображения вольтметра *РУ1*.

*Величина напряжения обмотки возбуждения генератора* выводится около изображения вольтметра *РУ2*.

Внести полученные данные в поле результатов с помощью кнопки «ЗАПИСАТЬ».

С помощью регулятора «Скорость движения вагона» установить новое значение скорости.

Для получения параметров по вновь установленной скорости нажать кнопку «ПУСК».

По полученным данным рассчитать:

- общее сопротивление обмотки возбуждения;
- добавочное сопротивление угольного столба.

Построить:

- график изменения напряжения генератора;
- график изменения мощности рассеивания в угольном регуляторе напряжения генератора;

Закончить эксперимент необходимо кнопкой «СТОП».

### «Запуск от приводного электродвигателя»

Исследование генераторов продольного поля

Выбор опыта  
 Снятие характеристик холостого хода  
 Исследование РНГ  
 Запуск от приводного электродвигателя

Тип генератора  
 Газелан  
 DUGG - 28 В  
 PW - 114  
 DCG

Тип аккумуляторной батареи  
 Кислотные  
 Щелочные

Тип РНГ  
 64/01.38  
 66/62.28  
 ERU 80.201  
 ERU 80.001

Сопротивление сжатого столба РНГ

Скорость движения вагона

Диаметр колес

Температура обмотки

Частота вращения приводного электродвигателя

Запуск генератора от приводного двигателя

СТОП    ПУСК    ЗАПИСАТЬ    ВЫХОД    Справка

*Активные элементы управления:*

- поле выбора «Тип генератора»;
- регулятор «Частота вращения приводного электродвигателя».

Эксперимент «Запуск от приводного двигателя» имитирует работу генератора с отключенной обмоткой возбуждения.

### Проведение эксперимента «Запуск от приводного электродвигателя»

- выбрать тип генератора;
- установить частоту вращения приводного электродвигателя;
- замкнуть выключатель K1;
- нажать кнопку «Записать»;
- при необходимости повторить действия.

*Частота вращения генератора* выводится около его изображения на схеме.

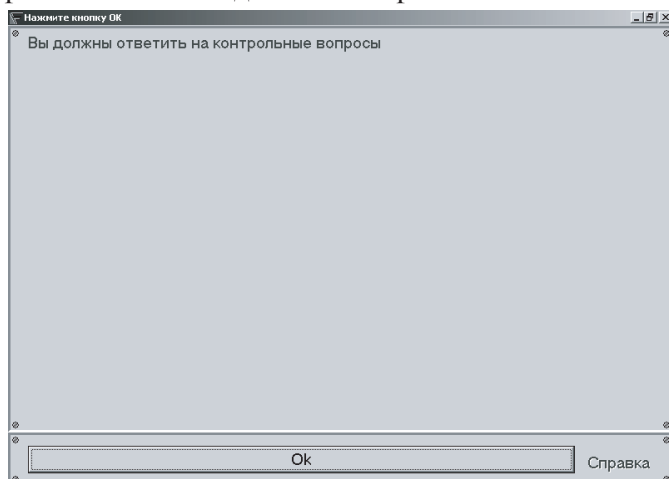
*Величина напряжения генератора* выводится около изображения вольтметра *PUI*.

### «Выход»

При нажатии кнопки «Выход» происходит закрытие окна «Исследование генераторов продольного поля» и переход в окно тестирования.

### Окно тестирования (окно контрольных вопросов)

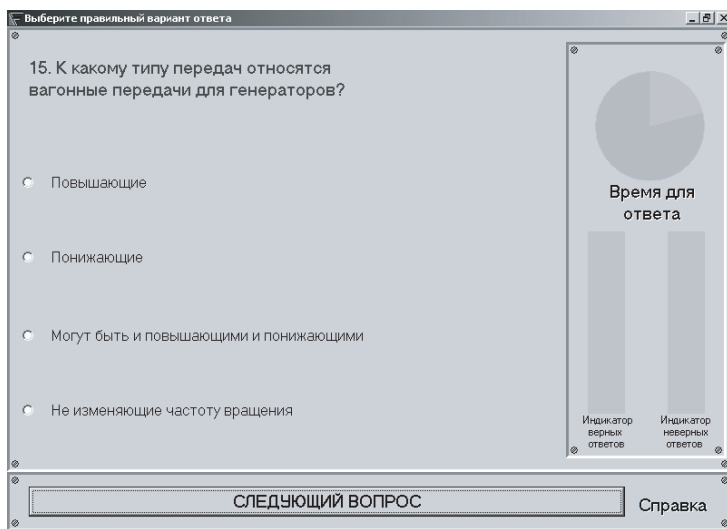
Первоначальный вид окна тестирования



Вначале студенту предлагается ответить на контрольные вопросы. В случае закрытия окна происходит выход в главное окно программы.

При нажатии кнопки «OK» происходит видоизменение окна тестирования.

Видоизмененное окно тестирования



### Вопрос

Вопрос выведен красным шрифтом в верхней части окна тестирования.

### Выбор ответа

Студенту предлагается выбрать правильный вариант ответа из четырех предложенных. После выбора ответа его необходимо отметить и нажать кнопку «Следующий вопрос».

### Контроль времени

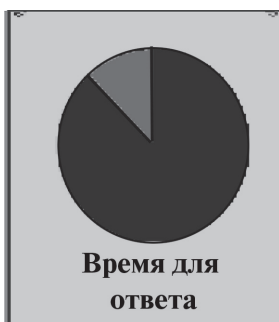
На выбор ответа студенту отводится 60 секунд, по истечении которых автоматически предлагается следующий вопрос, а вопрос, время ответа которого просрочено, засчитывается как неправильный.



В правом верхнем углу окна тестирования расположен индикатор времени, с помощью которого студент может контролировать время для ответа.



В течении 45 секунд индикатор времени имеет зеленый цвет.

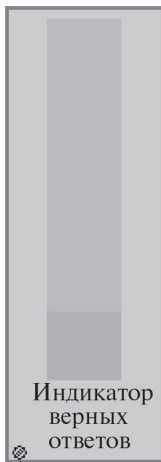


По истечении 45 секунд индикатор принимает предупреждающий желтый цвет.



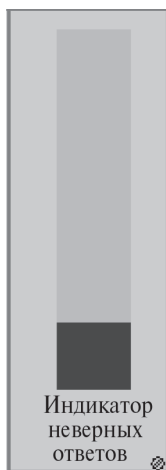
В последние 5 секунд отведенного времени индикатор принимает красный цвет.

**«Индикатор верных ответов»**



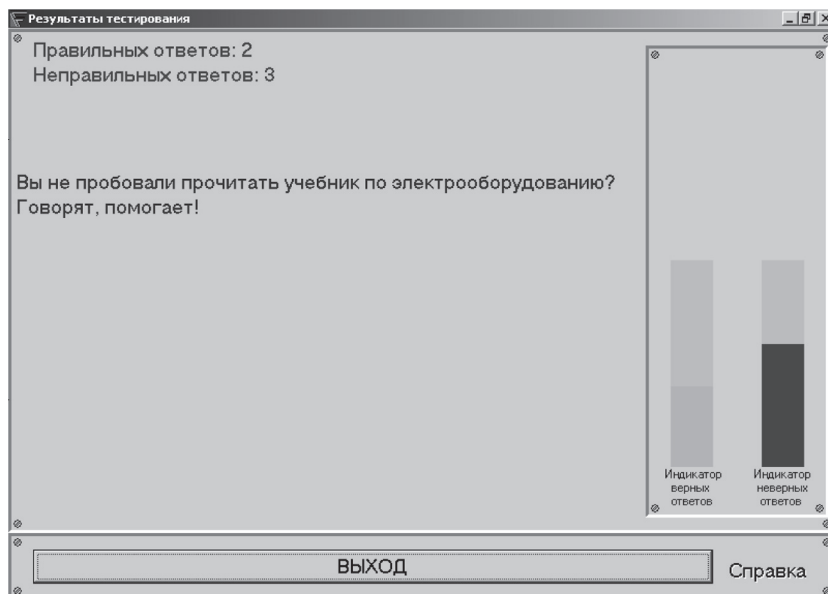
Индикатор верных ответов увеличивает свое значение на один пункт в случае правильного ответа.

**«Индикатор неверных ответов»**



Индикатор неверных ответов увеличивает свое значение на один пункт в случае неправильного ответа.

### Видоизменение окна тестирования



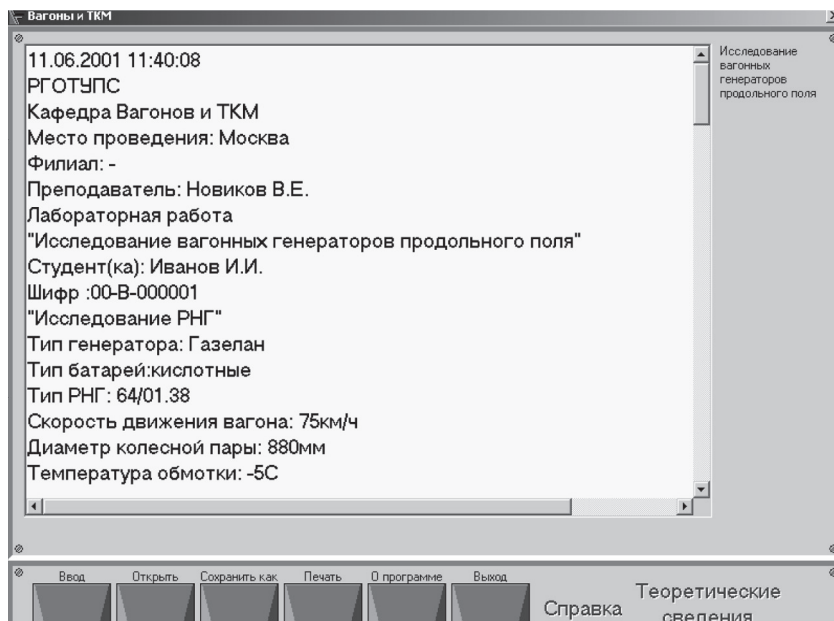
После 5 предложенных вопросов окно тестирования изменяется следующим образом:

- в левом верхнем углу выводятся результаты тестирования, чуть ниже выводится резюме по итогам тестирования;
- с помощью индикаторов указано количество правильных и неправильных ответов.

### «Выход»

При нажатии кнопки «Выход» происходит возвращение в главное окно программы.

## Видоизменения главного окна программы



В главном окне программы выводятся результаты проведения лабораторной работы со всеми полученными (записанными с помощью кнопки «*ЗАПИСАТЬ*») данными, которые при желании можно сохранить с помощью кнопки «*Сохранить как*».

Просмотреть полученные данные возможно только после введения кода допуска (вводится преподавателем).

Если нет необходимости сохранять результаты лабораторной работы, уничтожить полученные результаты можно с помощью двойного щелчка левой кнопкой мышки по полю вывода результатов.

# ПРОГРАММА АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОСТОГО ХОДА ДЛЯ ВАГОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В СИСТЕМЕ MATHCAD

Запустить программу под руководством преподавателя.

Для использования данной программы студенту необходимо выполнить следующие действия.

В п.1 индексу  $j$  присвоить номер заданного преподавателем типа генератора. Например, для генератора DUGG 28 В установить  $j := 2$  ( $j := 0$  используется для обозначения  $i_p$ ). Передаточное отношение  $i_p$  и максимальные частоты вращения генераторов  $n_{\text{макс}}$  ПЭВМ выбирает автоматически из п. 1 а).

Данные п.п б)-с) задаются преподавателем.

1. *Ввод исходных данных* (выделены прямоугольниками)

а) Номер и тип генератора: **1.** 23\07.21, **2.** DUGG 28 В, **3.** DCG 4435/24, **4.** PW-114AB, **5.** MDS ( $j=1, 2, 3, 4, 5$ );

соответствующие числа  $i_p$  передаточных отношений

редукторов генераторов, максимальные частоты вращения генераторов  $n_{\text{макс}}$ , об/мин

$$j := 0..6 \quad i_p := (0 \quad 3.909 \quad 2.96 \quad 3.727 \quad 3.909 \quad 2.96)^T \quad \boxed{j := 2}$$

$$n_{\text{макс}} := (0 \quad 2900 \quad 3000 \quad 3800 \quad 2900 \quad 2900)^T$$

б) Скорость движения вагона  $V$  ( $0 < V < 160$ ), км/ч  $V := \boxed{100 \text{ км/ч}}$

в) Диаметр колес  $D_K$  ( $0.885 < D_K < 0.964$ ), м  $D_K := \boxed{0.95 \text{ м}}$

г) Тип батареи: **1.** кислотная, **2.** щелочная ( $k=1, 2$ );  $k := \boxed{2}$

**3.** б/к, **4.** с/к ( $k1=3, 4$ )  $k1 := \boxed{4}$

д) Температура электролита  $t_{\text{эл}}$  ( $-20 < t_{\text{эл}} < +45$ ), °C  $t_{\text{эл}} := \boxed{20 \text{ °C}}$

е) Температура обмотки возбуждения  $t_{\text{ов}}$  ( $-60 < t_{\text{ов}} < +50$ ), °C  $t_{\text{ов}} := \boxed{20 \text{ °C}}$

2. *Значения тока возбуждения  $i_B$ , А и ЭДС  $E_G$ , В*

*холостого хода вагонных генераторов заданы при 1000 об/мин*

Ток  
возб.

23\07.21

DUGG-28B

DCG-  
4435/24

PW-114AB

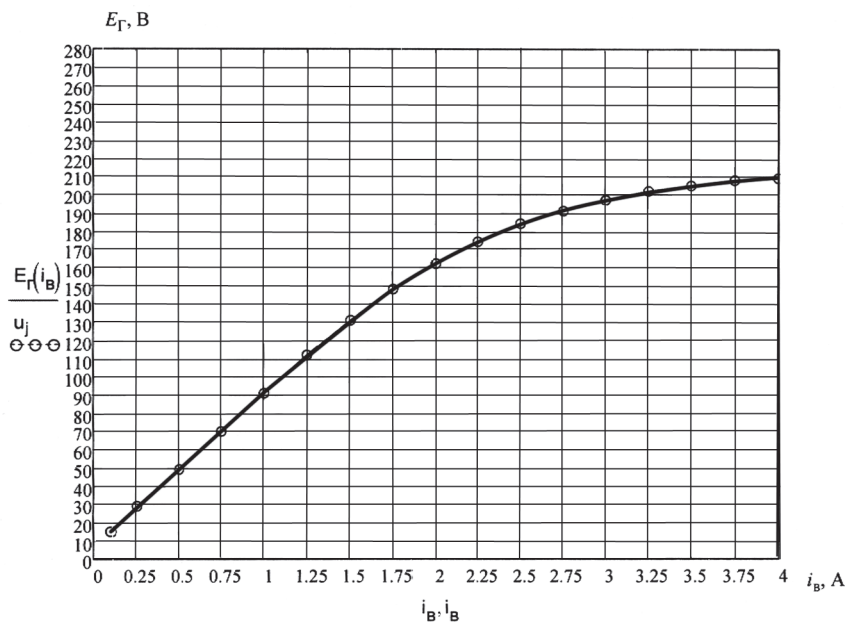
MDS

$i_B :=$						
0.1	$u_1 :=$	$u_2 :=$	$u_3 :=$	$u_4 :=$	$u_5 :=$	
0.25	7	15	15	10	20	
0.5	13	29	29	18	37	
0.75	25	49	53	33	64	
1.0	36	70	77	47	94	
1.25	46	91	94	59	120	
1.5	55	112	106	72	146	
1.75	65	131	115	85	170	
2.0	74	148	120	96	191	
2.25	82	162	124	105	210	
2.5	88	174	127	114	226	
2.75	94	184	130	121	240	
3.0	99	191	131	128	253	
3.25	104	197	132	133	260	
3.5	107	202	132	138	270	
3.75	111	205	132	142	270	
4.0	113	208	132	145	270	
	113	209.1	132	146	270	

3. Вид сплайн-графика  $E_{\Gamma} = f(i_B)$  холостого хода

выбранного генератора DUGG-2813 и заданных точек при 1000 об/мин  
приведены ниже

$$s := \text{cspline}(i_B, u_j) \quad E_{\Gamma}(i_B) := \text{interp}(s, i_B, u_j, i_B)$$



4. Значения сопротивлений  $R_{ОВ}$ , Ом обмоток возбуждения при  $18\text{ }^\circ\text{C}$

$$R_{ОВ} := (0 \quad 14.2 \quad 22 \quad 20 \quad 13 \quad 25)^T$$

5. Вычисление сопротивления  $R_{ОВ}$ , Ом обмотки возбуждения при заданном значении температуры  $t_{ОВ}$  ( $-60 < t_{ОВ} < +50$ ),  $^\circ\text{C}$

$$R_{ОВ} := R_{ОВ} [1 + 0.004 \cdot (t_{ОВ} - 18)]$$

$R_{ОВ} = 22.176$  Ом - сопротивление обмотки возбуждения при  $t_{ОВ} = 20\text{ }^\circ\text{C}$

6. Вычисление частоты вращения генератора, об/мин

$$n(V) := V \cdot \frac{i_{p_j}}{0.188 \cdot D_k} \quad n(160) = 2.652 \times 10^3 \quad n(5) = 82.867 \quad n(1) = 16.573$$

$n(V) = 1.657 \times 10^3$  об/мин - частота вращения генератора

7. Определение напряжения  $U_{3,Б}$  заряда батареи, В

$$m1 := 0..2 \quad m1 := k - 1 \quad m2 := k1 - 1 \quad m2 = 3 \quad t_{эл} = 20\text{ }^\circ\text{C}$$

$$a := \begin{pmatrix} 2.5 & -0.00357 & 26 & 56 \\ 1.72 & -0.0055 & 40 & 79 \end{pmatrix} U_{3.Б} := (a_{m1,0} - a_{m1,1} \cdot t_{эл}) \cdot a_{m1,m2}$$

$U_{3.Б} = 144.570$  В - величина заряда батареи

8. Нахождение координат точки M

$$U_{R_{OB}}(I) := R_{OB} \cdot I$$

$$Q(R_{OB}) := \begin{array}{l} R1_{OB} \leftarrow R_{OB} \\ i \leftarrow 0 \\ \text{for } n \in 100 \dots 1000 \\ \quad \left| \begin{array}{l} l_i \leftarrow 1.25 \\ \text{break if } \frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, l_i)}{1000} \cdot n \geq R1_{OB} \cdot l_i \\ \text{while } \frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, l_i)}{1000} \cdot n \geq R1_{OB} \cdot l_i \\ \quad i \leftarrow i + 1 \end{array} \right. \\ l \leftarrow l_i \\ l \leftarrow \text{root} \left( \frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, l)}{1000} \cdot n - R1_{OB} \cdot l, l \right) \\ \left( \begin{array}{l} n \\ l \end{array} \right) \end{array}$$

$$Q := Q(R_{OB}) \quad Q = \begin{pmatrix} 248 \\ 1.275 \end{pmatrix} \quad I := Q_1 \quad I = 1.275 \quad n := Q_0 \quad n = 248$$

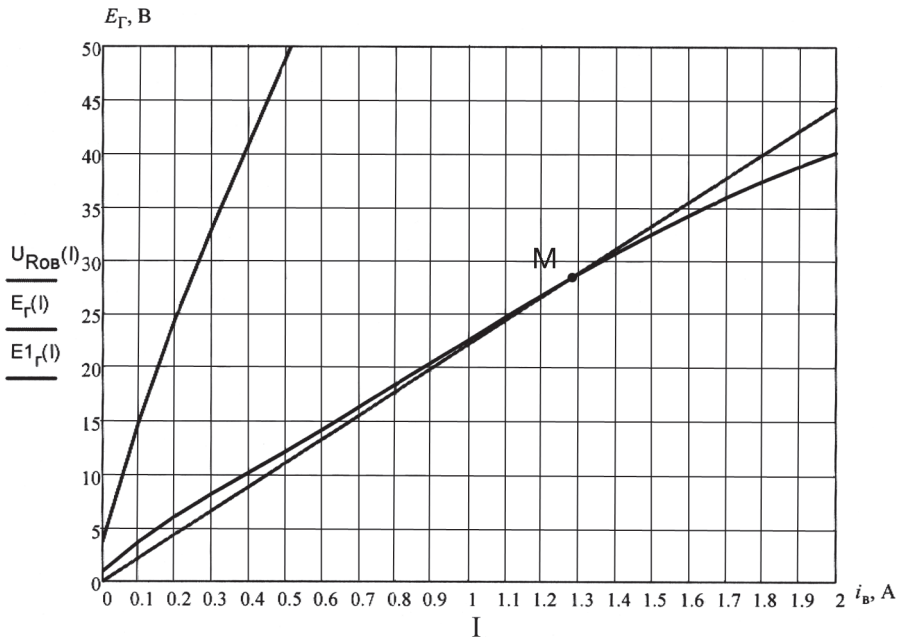
$$E1_r(I) := \frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, I)}{1000} \cdot n \quad E1_r(I) = 28.264 \quad U := E1_r(I)$$

$$U_{R_{OB}}(I) = 28.264$$

$I = 1.275$  А  $U = 28.264$  В - координаты т.М при  $n = 248$  об/мин

$$I := 0, 0.1 \dots 2 \quad U_{R_{OB}}(I) := R_{OB} \cdot I \quad E_r(I) := \text{interp}(s, i_B, u_j, I)$$





9. Вычисление добавочного сопротивления  $R_d$ , Ом для  $n_{кр}$ , об/мин

$$I := 2 \quad I := \text{root}(\text{interp}(s, i_B, u_j, I) - U_{3.Б}, I) \quad I = 1.696 \quad U_{ROB}(I) = 37.613$$

$$R_d := \frac{U_{3.Б} - U_{ROB}(I)}{I} \quad U_{3.Б} = 144.57 \quad (R_{ОВ} + R_d) \cdot I = 144.57$$

$$R_{ОВ} = 22.176$$

$R_d = 63.06$  Ом - добавочное сопротивление  $R_d$  для  $I = 1.696$  А

10. Вычисление  $n_{кр}$ , об/мин

$$E_{г,n}(I, n) := \frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, I)}{1000} \cdot n$$

$$\frac{d}{dI} \left( \frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, I)}{1000} \cdot n \right) \quad \text{Вывод} \quad \frac{n \cdot \frac{d}{dI} \text{interp}(s, i_B, u_j, I)}{1000}$$

$$D(R_{OV}) := \begin{cases} n \leftarrow 0 \\ l \leftarrow 0.25 \\ R_{OV} \leftarrow 22.176 \\ \frac{n \cdot \frac{d}{dl} \text{interp}(s, i_B, u_j, l)}{1000} < R_{OV} \\ \text{while} \\ \quad n \leftarrow n + 1 \\ \text{end while} \\ n \end{cases}$$

$n := D(R_{OV}) \quad n = 261 \text{ об/мин}$  -критическая частота вращения

соответствует  $i_B = 0.25 \text{ A}$

11. Вычисление  $I_{В.макс}$ , А

$$I_{В.макс} := \frac{U_{З.Б}}{R_{OV}}$$

$I_{В.макс} = 6.519 \text{ A}$  -максимальное значение тока

возбуждения

12. Вычисление  $I_{В.мин}$ , А

$$l := 0.3 \quad I_{В.мин} := \text{root} \left( \frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, l)}{1000} \cdot n_{\text{макс}j} - U_{З.Б}, l \right)$$

$I_{В.мин} := 0.49 \text{ A}$  -минимальное значение тока

возбуждения

13. Построение графиков  $R_{\text{доб}}(i_B)$ ,  $O_M$  и  $P_{\text{ус}}(i_B)$

$i_B :=$	4.25	$v_1 :=$	113	$v_2 :=$	210.2	$v_3 :=$	132	$v_4 :=$	146	$v_5 :=$	270
	4.50		113		211.3		132		146		270
	4.75		113		212.4		132		146		270
	5.00		113		213.5		132		146		270
	5.25		113		214.6		132		146		270
	5.50		113		215.7		132		146		270
	5.75		113		216.8		132		146		270
	6.00		113		217.9		132		146		270
	6.25		113		219		132		146		270
	6.50		113		220.1		132		146		270
	6.75		113		221.2		132		146		270
	7.00		113		222.3		132		146		270
	7.25		113		223.4		132		146		270
	7.50		113		224.5		132		146		270
	7.75		113		225.6		132		146		270
	8.00		113		226.7		132		146		270
	8.25		113		227.8		132		146		270

$$i_B := \text{stack}(i_B, i_{B1})$$

$$u_3 := \text{stack}(u_3, v_3)$$

 $i_B =$ 

	0
0	0.1
1	0.25
2	0.5
3	0.75
4	1
5	1.25
6	1.5
7	1.75
8	2
9	2.25
10	2.5
11	2.75
12	3
13	3.25
14	3.5
15	...

$$u_1 := \text{stack}(u_1, v_1)$$

$$u_4 := \text{stack}(u_4, v_4)$$

 $u_1 =$ 

	0
0	7
1	13
2	25
3	36
4	46
5	55
6	65
7	74
8	82
9	88
10	94
11	99
12	104
13	107
14	111
15	...

$$u_2 := \text{stack}(u_2, v_2)$$

$$u_5 := \text{stack}(u_5, v_5)$$

 $u_2 =$ 

	0
0	15
1	29
2	49
3	70
4	91
5	112
6	131
7	148
8	162
9	174
10	184
11	191
12	197
13	202
14	205
15	...

$$u_3 =$$

	0
0	15
1	29
2	53
3	77
4	94
5	106
6	115
7	120
8	124
9	127
10	130
11	131
12	132
13	132
14	132
15	...

$$u_4 =$$

	0
0	10
1	18
2	33
3	47
4	59
5	72
6	85
7	96
8	105
9	114
10	121
11	128
12	133
13	138
14	142
15	...

$$u_5 =$$

	0
0	20
1	37
2	64
3	94
4	120
5	146
6	170
7	191
8	210
9	226
10	240
11	253
12	260
13	270
14	270
15	...

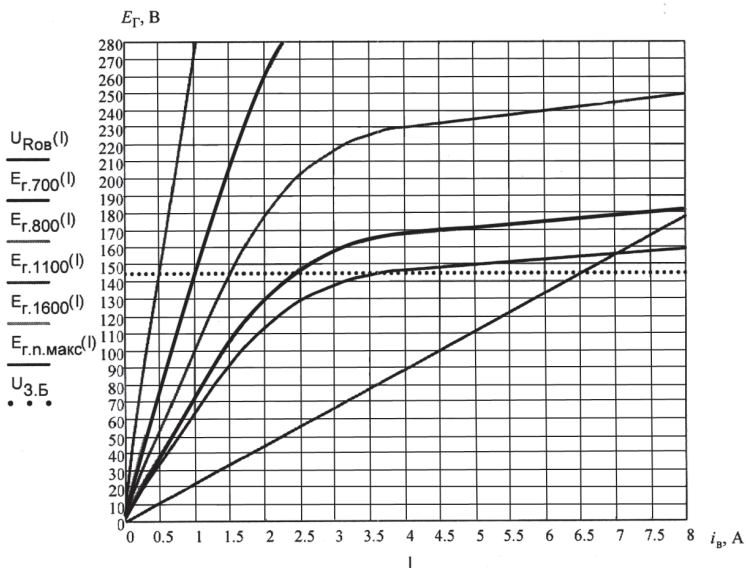
$$s := \text{cspline}(i_B, u_j)$$

$$E1_r(i1_B) := \text{interp}(s, i_B, u_j, i1_B)$$

$$i := 0..78$$

$$i1_{B_0} := 0.1$$

$$i1_{B_i} := i1_{B_0} + 0.05 \cdot i$$



$$I_{В.МИН} := 0.49$$

$$I1_0 := I_{В.МИН}$$

$$R_{Д.МАКС} := 272.865 \quad R_{Д0} := R_{Д.МАКС}$$

$$R_{Д0} = 272.865$$

$$I := 2 \quad I1_1 := \text{root}(E_{Г.1600}(I) - U_{З.Б}, I)$$

$$I1_1 = 0.992$$

$$R_{Д1} := (U_{З.Б} - U_{РОВ}(I1_1)) \cdot (I1_1)^{-1}$$

$$R_{Д1} = 123.503$$

$$I := 2 \quad I1_2 := \text{root}(E_{Г.1100}(I) - U_{З.Б}, I)$$

$$I1_2 = 1.506$$

$$R_{Д2} := (U_{З.Б} - U_{РОВ}(I1_2)) \cdot (I1_2)^{-1}$$

$$R_{Д2} = 73.825$$

$$I := 2 \quad I1_3 := \text{root}(E_{Г.800}(I) - U_{З.Б}, I)$$

$$I1_3 = 2.409$$

$$R_{Д3} := (U_{З.Б} - U_{РОВ}(I1_3)) \cdot (I1_3)^{-1}$$

$$R_{Д3} = 37.826$$

$$I := 2 \quad I1_4 := \text{root}(E_{Г.700}(I) - U_{З.Б}, I)$$

$$I1_4 = 3.618$$

$$R_{Д4} := (U_{З.Б} - U_{РОВ}(I1_4)) \cdot (I1_4)^{-1}$$

$$R_{Д4} = 17.778$$

$$I_{В.МАКС} := \frac{U_{З.Б}}{R_{ОВ}}$$

$$I_{В.МАКС} = 6.519$$

$$I1_5 := I_{В.МАКС}$$

$$I1_5 = 6.519$$

$$R_{D5} := (U_{3.Б} - U_{R_{0B}}(I_{15})) \cdot (I_{15})^{-1} \quad R_{D5} = 0$$

$$I_1^T = (0.49 \quad 0.992 \quad 1.506 \quad 2.409 \quad 3.618 \quad 6.519)$$

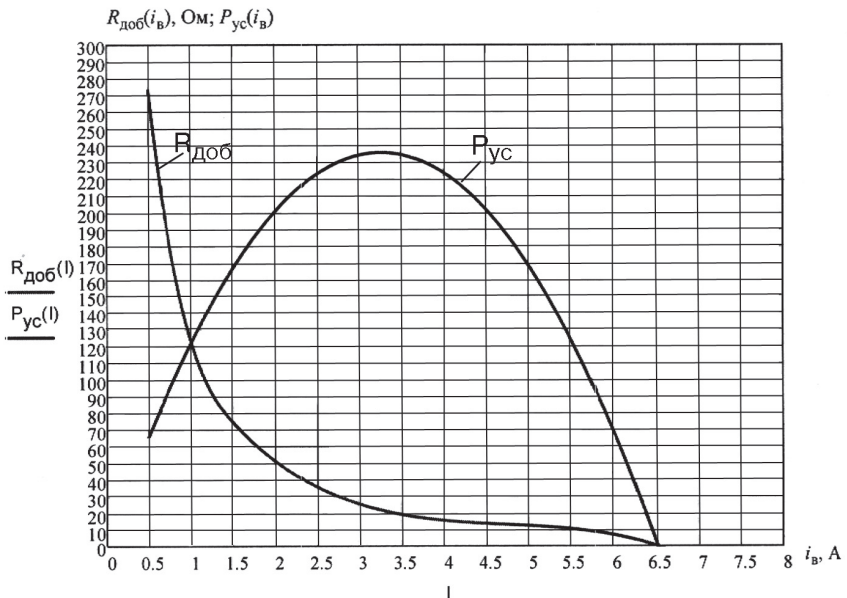
$$R_D^T = (272.865 \quad 123.503 \quad 73.825 \quad 37.826 \quad 17.778 \quad 0)$$

$$s1 := \text{cspline}(I_1, R_D) \quad R_{\text{доб}}(I) := \text{interp}(s1, I_1, R_D, I) \quad i := 0..5$$

$$P_{y_i} := (I_{1i})^2 \cdot R_{D_i} \quad s2 := \text{cspline}(I_1, P_y)$$

$$P_{yc}(I) := \text{interp}(s2, I_1, P_y, I)$$

$$I := 0.49, 0.5..8$$



14. Вычисление  $n_0$ , об/мин

$$n_0 := \frac{U_{3.Б}}{\frac{\text{interp}(s, i_{В}, u_j, I_{В.макс})}{1000}} \quad n_0 = 656.586 \quad \text{об/мин}$$

15. Вычисление  $R_{В.макс}$ , Ом

$$R_{В.макс} := \frac{U_{3.Б}}{I_{В.мин}} \quad R_{В.макс} = 295.041 \quad \text{Ом}$$

16. Вычисление  $R_{Д.макс}$ , Ом

$$R_{Д.макс} := \frac{U_{3.Б} - U_{R_{ОВ}}(I_{В.мин})}{I_{В.мин}} \quad R_{Д.макс} = 272.865 \quad \text{Ом}$$

17. Построение графиков  $E_r(n)$ , В и  $i_{В}(n)$ , А

$$E_r(l) := \frac{\text{interp}(s, i_{В}, u_j, l)}{1000} \cdot n \quad I_{20} := 0 \quad \frac{656.586}{82} = 8.007 \quad U_{R_{ОВ0}} := 0$$

$$l := 2 \quad I_{21} := \text{root}\left(\frac{\text{interp}(s, i_{В}, u_j, l)}{1000} \cdot 82 - R_{ОВ} \cdot l, l\right) \quad I_{21} = 0.025$$

$$U_{R_{ОВ1}} := R_{ОВ} \cdot I_{21} \quad U_{R_{ОВ1}} = 0.549$$

$$l := 2 \quad I_{22} := \text{root}\left(\frac{\text{interp}(s, i_{В}, u_j, l)}{1000} \cdot 164 - R_{ОВ} \cdot l, l\right) \quad I_{22} = 0.142$$

$$U_{R_{ОВ2}} := R_{ОВ} \cdot I_{22} \quad U_{R_{ОВ2}} = 3.158$$



$$l := 2 \quad l_{23} := \text{root}\left(\frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, l)}{1000} \cdot 246 - R_{OB} \cdot l, l\right) \quad l_{23} = 1.16$$

$$U_{ROB_3} := R_{OB} \cdot l_{23} \quad U_{ROB_3} = 25.733$$

$$l := 2 \quad l_{24} := \text{root}\left(\frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, l)}{1000} \cdot 328 - R_{OB} \cdot l, l\right) \quad l_{24} = 2.868$$

$$U_{ROB_4} := R_{OB} \cdot l_{24} \quad U_{ROB_4} = 63.593$$

$$l := 2 \quad l_{25} := \text{root}\left(\frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, l)}{1000} \cdot 410 - R_{OB} \cdot l, l\right) \quad l_{25} = 3.857$$

$$U_{ROB_5} := R_{OB} \cdot l_{25} \quad U_{ROB_5} = 85.544$$

$$l := 6 \quad l_{26} := \text{root}\left(\frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, l)}{1000} \cdot 492 - R_{OB} \cdot l, l\right) \quad l_{26} = 4.708$$

$$U_{ROB_6} := R_{OB} \cdot l_{26} \quad U_{ROB_6} = 104.41$$

$$l := 6 \quad l_{27} := \text{root}\left(\frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, l)}{1000} \cdot 574 - R_{OB} \cdot l, l\right) \quad l_{27} = 5.594$$

$$U_{ROB_7} := R_{OB} \cdot l_{27} \quad U_{ROB_7} = 124.049$$

$$l := 6 \quad l2_8 := \text{root}\left(\frac{\text{interp}(s, i_B, u_j, l)}{1000} \cdot 656 - R_{OB} \cdot l, l\right) \quad l2_8 = 6.513$$

$$U_{3.B} = 144.57 \quad U_{ROB_8} := R_{OB} \cdot l2_8 \quad U_{ROB_8} = 144.422 \quad 82 \cdot 8 = 656$$

$$i := 0..8 \quad n1_i := 82 \cdot i \quad n1^T = (0 \ 82 \ 164 \ 246 \ 328 \ 410 \ 492 \ 574 \ 656)$$

$$U_{ROB}^T = (0 \ 0.549 \ 3.158 \ 25.733 \ 63.593 \ 85.544 \ 104.41 \ 124.049 \ 144.422)$$

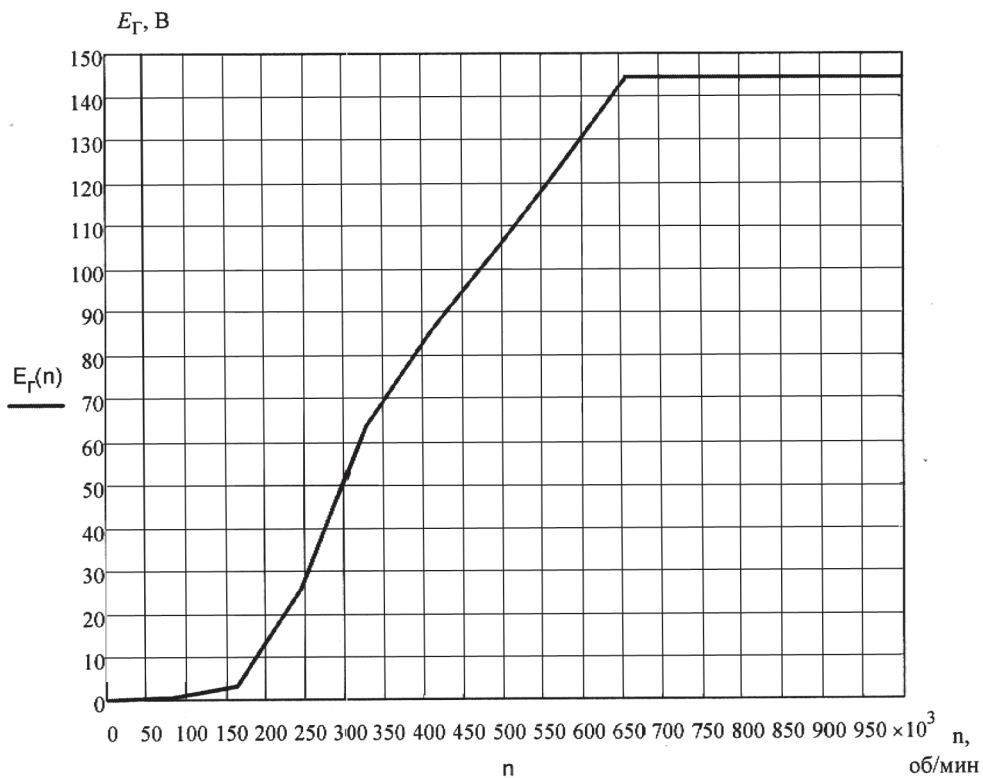
$$l2^T = (0 \ 0.025 \ 0.142 \ 1.16 \ 2.868 \ 3.857 \ 4.708 \ 5.594 \ 6.513) \quad n_0 = 656.586$$

$$s3 := \text{cspline}(n1, U_{ROB}) \quad E1_r(n) := \text{linterp}(n1, U_{ROB}, n)$$

$$s4 := \text{cspline}(n1, l2) \quad i1_B(n) := \text{interp}(s4, n1, l2, n)$$

$$n := 0.1, 0.2..1000$$

$$E_r(n) := \begin{cases} E1_r(n) & \text{if } 0 < n < 656 \\ U_{3.B} & \text{if } 655 < n < 1000 \end{cases}$$



$$I_{30} := I_{В.МАКС} \quad I_{31} := I_{14} \quad I_{32} := I_{13} \quad I_{33} := I_{12} \quad I_{34} := I_{11} \quad I_{35} := I_{В.МИН}$$

$$I_{3}^T = (6.519 \quad 3.618 \quad 2.409 \quad 1.506 \quad 0.992 \quad 0.49)$$

$n_{20} := 656$     $n_{21} := 700$     $n_{22} := 800$     $n_{23} := 1100$     $n_{24} := 1600$

$n_{25} := n_{\text{макс}_j}$

$n2^T = (656 \quad 700 \quad 800 \quad 1.1 \times 10^3 \quad 1.6 \times 10^3 \quad 3 \times 10^3)$

$s4 := \text{cspline}(n1, l2)$

$i1_B(n) := \text{linterp}(n1, l2, n)$

$s5 := \text{cspline}(n2, l3)$

$i2_B(n) := \text{linterp}(n2, l3, n)$

$n := 0, 0.1.. 3000$

$i_B(n) := \begin{cases} i1_B(n) & \text{if } 0 < n < 656 \\ i2_B(n) & \text{if } 655 < n < 3000 \end{cases}$

$I_{B.\text{МИН}} = 0.49$

$I_{B.\text{МАКС}} = 6.519$

$n_{\text{макс}_j} = 3 \times 10^3$

