

**Минно-Геоложки Университет**

**“Св. Иван Рилски” – гр. София**

**Минно електро-механичен факултет**

**КАТЕДРА “ЕЛЕКТРИФИКАЦИЯ НА МИННОТО ПРОИЗВОДСТВО”**

**инж. Кирил Сталинов Джустров**

**УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО  
НА РУДНИЧНИ АКУМУЛАТОРНИ ЛОКОМОТИВИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

За получаване на образователна и научна степен “Доктор”

По професионално направление:

5.2. Електротехника, електроника и автоматика,  
научна специалност “Електроснабдяване и  
електрообзавеждане (по отрасли)”

**НАУЧНИ РЪКОВОДИТЕЛИ:**

**ПРОФ. Д-Н МЕНТО САМУИЛОВ МЕНТЕШЕВ**

**ПРОФ. Д-Р ИВАН ГЕОРГИЕВ СТОИЛОВ**

**София, 2012**

Дисертационния труд е обсъден от разширен състав на катедрения съвет на катедра “Електрификация на минното производство” на 01.06.2012г. и е насочен за защита към Научно жури.

**Рецензенти:**

.....

.....

Защитата на дисертационния труд ще се състои на.....2012 г.  
от.....часа в зала.....на МИННО – ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ “Св. Иван  
Рилски” за присъждане на образователна и научна степен “Доктор” пред  
Научно жури.

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите  
се в канцеларията на сектор “Следдипломна квалификация” на МГУ  
“Св. Иван Рилски”  
Адрес: 1100 София, Студентски град  
МГУ “Св. Иван Рилски”

# **I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

## **1. Актуалност на проблема**

Дисертационният труд е посветен на решаването на проблема с модернизацията на електрообзавеждането на рудничните акумулаторни локомотиви.

Този проблем се оказва актуален не само за България. Изследователският подход и съвременните технически решения на колектив от МГУ “Св. Ив. Рилски” с участие на автора, впечатлиха ръководството и специалистите от Научно-производственото предприятие “Енергия” в Украйна, които първоначално инвестираха, а по-късно и пряко участваха в разработването, изпитването и внедряването в производство на модернизирани акумулаторни локомотиви.

Поради свиването на минната промишленост, преди всичко на подземния добив в България, внедряването на модернизирани акумулаторни локомотиви в страната се оказва ограничено. Но това се оказва действителност в Украйна, където и в момента те серийно се произвеждат и са въведени в десетки рудници, предимно в Донбас.

## **2. Цели и задачи на работата**

В дисертацията са формулирани следните задачи:

- Разработване на безконтактно управление на тяговите двигатели на базата на транзистори.
- Създаване на предпоставки за въвеждане на оловните акумулаторни батерии в рудничните локомотиви.
- Разработване на зарядно устройство за руднични оловни батерии на съвременна елементна база, с нови технологии за ускорено зареждане, със защити от ненормални режими на работа и с оптимално ограничен риск от електрозлополуки при експлоатация.

## **3. Приложимост и полезност**

Модернизирани единични акумулаторни локомотиви са въведени в експлоатация в България, но в Украйна се произвеждат серийно и се

експлоатират стотици по разработената и патентована модернизация. Постиженията в дисертационния труд биха намерили приложимост и в задвижването на електромобили, електрокари и др.

#### **4. Аprobация на работата**

Основните резултати в дисертацията са докладвани на престижни международни конференции в страната и чужбина. Системата за управление на движението и електрооборудването на руднични акумулаторни локомотиви е патентована в Украйна.

По дисертационния труд има общо 5 публикации.

#### **5. Обем и структура на дисертационната работа**

Дисертационният труд е структуриран в увод, пет глави, заключение, претенции за приноси, публикации на автора по дисертационния труд, използвана литература и 15 приложения. Общият обем на дисертацията, без приложенията е 139 страници.

## **II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

### **Глава 1 - Електрообзавеждане на рудничните акумулаторни локомотиви. Състояние. Проблеми**

Акумулаторните локомотиви, които се използват у нас и в много страни от Източна Европа са физически и морално остарели, със съмнителна техническа и много ниска икономическа ефективност. За управление се използват електромеханични контролери, с ниска надеждност и бърза амортизация [49]. Скоростта на движение се регулира със съпротивления (при значителни загуби на енергия), чрез превключване на двигателите (паралелно и последователно) и с изменение на напрежението (с използване на междинни изводи от акумулаторната батерия).

В България, както и в страните на ОНД и Източна Европа по десетилетна традиция се използват изключително алкални батерии. Днес те отстъпват по почти всички технически показатели и по цена на оловните киселинни батерии.

Като цяло акумулаторната батерия е подложена на агресивната руднична атмосфера и на прякото въздействие от излят електролит (NaOH, KOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Това обстоятелство, съчетано с факта, че практически батерийния сандък е заземен (чрез локомотива и релсовия път или чрез зарядната маса), определят и значителните по големина утечни токове.

Зарядните устройства са с остарели елементи, конструкции, схеми и технологии на заряд, с големи размери и тегло, пораждащи и по-висока цена.

### **1.1. Електрозадвигване на акумулаторните локомотиви**

До 90<sup>-те</sup> години на миналия век в електрозадвигванията на двигателите с последователно възбуждане най-масово е използвано управление с електромеханични командоконтролери и съпротивления за регулиране на скоростта. Това е най-примитивния начин за управление, с най-лоши енергийни показатели, с най-ниска надеждност. По-късно се прилага задвигване с два тягови двигателя с последователно възбуждане и с безреостатна система за управление на скоростта на движение чрез секционирание на акумулаторната батерия и отслабване на магнитното поле. В сравнение с по-рано използваните задвигвания с реостатно управление това решение има по-добри енергийни показатели, благодарение на отстранените загуби в пусковите реостати [11]. Малкото на брой степени за регулиране на скоростта и като следствие скокообразното изменение на тока и тяговото усилие при прехода от една позиция на контролера към друга, водят до непълно използване на сцепната маса на локомотива, а така също към понижаване на надеждността и експлоатационния срок [25, 74, 75].

### **1.2. Тягови акумулаторни батерии.**

Използваните акумулаторни батерии могат да бъдат разделени в зависимост от състава на електролита на киселинни и алкални. Те широко се използват в подвижния състав на релсовия и безрелсовия транспорт (локомотиви, автомобили, електрокари) като тягови, стартерни и като спомагателни източници на електрически ток.

Най-голямо приложение от киселинната група са намерили оловните акумулатори [58], различни типове от които се използват като стартерни, стационарни и тягови [99]. За тягови цели те се използват във всички отрасли,

с изключение на минната промишленост в Русия, Украйна и в Източно-европейските страни, включително България.

В мините на изброените по-горе страни за тягови батерии се прилагаха изключително акумулатори от алкалната група преди всичко железно-никеловите и никел-кадмиевите. Анализират се основните им недостатъци и ниската им енергийна ефективност.

### **1.3. Зарядни устройства**

За зареждане на рудничните тягови акумулаторни батерии в последните три десетилетия се използват полупроводникови изправители. Те се отличават с простота на обслужването, дълъг живот и високо к.п.д. Благодарение на тези фактори, имащи особено значение в рудничните условия, те са изместили напълно използваните по-рано (до средата на миналия век) двигател-генераторни и живачни изправители [24].

Общо изискване към зарядните устройства за рудничните акумулаторни батерии е те да бъдат зареждани в рамките на една смяна. Има много разработки на зарядни устройства, извършващи заряд на батерията за 5-6 часа [6, 7, 86]. Съществуват и методи за възстановяване на батериите по време на експлоатацията, които са разгледани и анализирани в [71].

#### **Изводи:**

За условията на България, другите страни от източна Европа и в голяма степен за Русия и Украйна са актуални следните изводи:

1. За електрозадвижването на рудничните акумулаторни локомотиви масово се използва реостатното управление на – с най-ниска енергийна ефективност.
2. Разработените схеми с тиристорно управление притежават съществени недостатъци: ниска надеждност, големи загуби в тиристорите и т.н.
3. Желязно-никеловите батерии са с ниска енергийна ефективност и не са конкурентни на съвременните оловни батерии.
4. Използваните зарядни устройства са изградени с остаряла елементна база и са предназначени само за железно-никелови батерии. Те са неприложими за оловните.

## **Глава 2 - Основни зависимости и параметри при транспорт с акумулаторни локомотиви**

Изборът на вида на електрозадвижването, на най-подходящите електрически машини, на начина на регулиране на скоростта както в преходните процеси (тръгване и спиране), така и в движението с постоянна или квазипостоянна скорост са функция преди всичко от механиката на движение на влаковите състави, използвани за целите на рудничния транспорт.

Изхождайки от тази предпоставка в главата са систематизирани основни и известни зависимости от движението на влаковите състави и най-често използваните електрозадвижвания в рудничните акумулаторни локомотиви.

Теоретичните постановки са насочени към специфичните минни условия преди всичко в подземните рудници и в този смисъл те са и в основата на осъществяваната модернизация на рудничните акумулаторни локомотиви.

### **2.1. Основни зависимости при движението на влаковия състав.**

При движението на влака върху релсовия път освен силите, които определят постъпателното преместване, възникват и редица добавъчни сили, между които са: силите на триене и натиск в буферите; натискът, създаван от масата на вагоните и предаван на релсовия път посредством ресорното окачване и буксите на колоосите; ударите, възникващи при преминаването на колоосите над междурелсовите съединения, и т.н.

Постъпателното движение на влака се обуславя от онези сили (или компоненти на сили), чието направление е успоредно на оста на релсовия път.

Силите, които непосредствено влияят върху постъпателното движение на влака, могат да бъдат сведени до следните две основни групи [48]: активни (движещи) сили и реактивни (съпротивителни) сили.

За изчисляване на тяговите диаграми на модернизираното електрозадвижване е използвано основното уравнение за движението на влака. То представлява математичен израз на зависимостта между ускорението, което влакът получава при постъпателното си движение, и силите, които обуславят това движение и има вида [48].

$$F - \Sigma W = M_{np} \frac{dv}{dt}, \quad (\text{II-1})$$

където  $F$  е теглителната сила,

$\Sigma W$  – резултантната съпротивителна сила,

$\frac{dv}{dt}$  – ускорението,

$M_{np}$  – е „приведената маса“ на състава

При двигателите за постоянен ток с последователно възбуждане котвения ток е едновременно и възбудителен ток. Следователно с промяна на натоварването се изменя и магнитният поток.

За статичните характеристики на двигателя уравненията за механичната и електромеханичната характеристики по форма съвпадат с тези за двигател с независимо възбуждане.

$$\omega = \frac{U_K}{c\Phi_{(I_K)}} - \frac{MR_{K\Sigma}}{c^2\Phi^2_{(I_K)}} \quad (\text{II-22})$$

$$\omega = \frac{U_K}{c\Phi_{(I_K)}} - \frac{I_K R_{K\Sigma}}{c\Phi_{(I_K)}} \quad (\text{II-23})$$

Очевидно, че разликата е в зависимостта на потока от котвения ток.

Обявените параметрични данни на двигателя, указани обикновено в заводската табела или в паспорта на двигателя се използват за определяне на характеристиките му [37].

Най-добре е когато има точна оценка на съпротивлението на котвената намотка  $R_K$ , но често това е свързано с трудности. Тогава се прибегва към груба (понякога – много груба) оценка, основаваща се на предположението, че половината от загубите  $\Delta P_H$  при номинално натоварване са загуби в медта на намотката [40]:

$$R_K \approx \frac{0,5\Delta P_H}{I_H^2} = 0,5 \frac{U_H}{I_H} (1 - \eta_H). \quad (\text{II-28})$$

В електрозадвижванията с двигатели с последователно възбуждане при  $U=U_H$  и известна естествена характеристика може да се използва уравнението за изкуствените характеристики при реостатно регулиране. При стойности на

$I_{ki}$  магнитният поток на машината има неизменно значение  $\Phi_i$  независимо от  $U_k$  и  $R_{k\Sigma}$ . Следователно, може да се получи съотношение за изчисление на  $\omega_u$  за произволен ток:

$$\omega_u = \omega_e \frac{U_H - I(R_k + R_g + R_d)}{U_H - I(R_k + R_g)} \quad (\text{II-29})$$

Горният израз е общ за електромеханичната характеристика е използван при изчисляване на модернизираното електрозадвижване.

### **Изводи:**

1. Систематизирани са целенасочено известни зависимости и параметри, характеризиращи движението на влаков състав с акумулаторни локомотиви.
2. Обобщени са по литературни източници съществени качества на най-използваните задвижвания в акумулаторните локомотиви – постояннотокови машини с независимо и последователно включване на възбудителната намотка.

## **Глава 3 - Модернизиране на електрозадвижването в рудничните акумулаторни локомотиви**

Модернизирането на електрозадвижването е една от най-съществените страни за осезателно подобряване на качеството на акумулаторните локомотиви. То се базира на предварителен подробен анализ на масово използваното реостатно управление (т. III.1), на систематизиране на основните недостатъци с тяхната количествена оценка, като от една страна трябва да бъдат избегнати в максимална степен и от друга, да дадат възможност за сравнителна технико-икономическа оценка при преминаване към безконтактното управление, развито в детайли в т. III.2.

### **3.1. Регулиране на електрозадвижването с реостатно управление и превключване на двигателите и батериите.**

Нормално серийните тягови електродвигатели са в постоянна кинематична връзка със задвижването от тях колооси, така че пускането им в движение съответно означава пускане в движение (потегляне) и на самия локомотив. Потеглянето и ускоряването на локомотива до определена,

установена скорост трябва да бъде осъществено плавно, т.е. при постоянно по големина пусково ускорение. По принцип това се постига по два начина:

- 1) чрез включването на регулируемо пусково съпротивление в котвената верига на двигателя (така нареченото реостатно пускане);
- 2) чрез регулиране на напрежението, с което се захранва двигателят през време на пусковия му период (безреостатно пускане).

Реостатното пускане на тяговите двигатели се съпровожда с неизбежни загуби на енергия в пусковото съпротивление, но може да бъде прилагано при всички видове електрически локомотиви.

Безреостатното пускане на тяговите двигатели е по-икономичен начин на пускане, чието приложение е трудно осъществимо при контактните електрически локомотиви. Използването му е особено подходящо при акумулаторните руднични локомотиви. Регулирането на напрежението в този случай се осъществява чрез изменение свързванията на акумулаторните елементи.

Рудничните акумулаторни локомотиви АМ8Д, за които е разработена модернизацията, са оборудвани с взривозащитен тягов постояннотоков двигател ДРТ-13М имащ следните технически данни:

| Режим на работа | Мощност      | Напрежение на котвата | Ток на котвата | Номинална честота на въртене | Макс. честота на въртене | КПД            |
|-----------------|--------------|-----------------------|----------------|------------------------------|--------------------------|----------------|
|                 | kW           |                       |                |                              |                          |                |
| Продължителен   | 7,5/6,7/5,6  | 145/130/110           | 61             | 1000/850/700                 | 1845                     | 82,5/84,5/83,5 |
| Часов           | 14,6/10/13,5 |                       | 122            | 700/615/505                  |                          | 82,5/82/78     |

В техническите характеристики липсват данни за съпротивлението на котвената верига (включително и съпротивлението на възбудителната намотка). За неговото определяне ще бъде използвано (II-28):

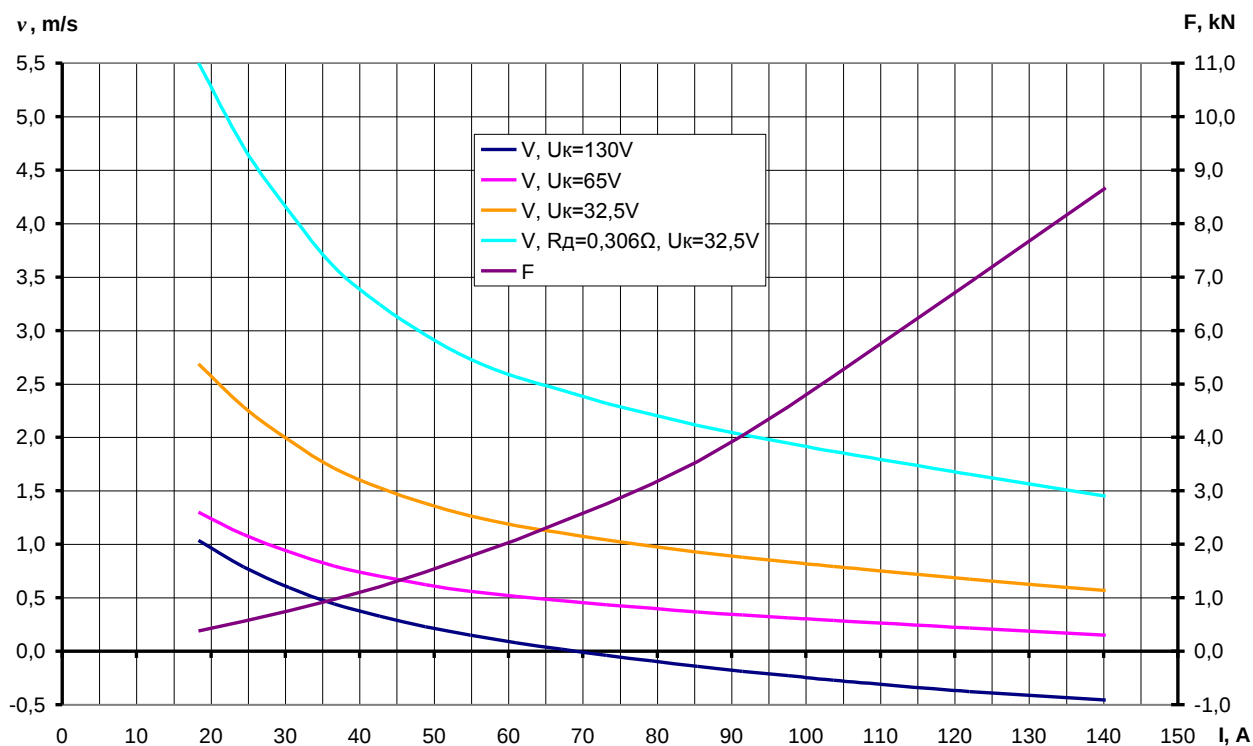
$$R_k \approx 0,5 \frac{U_H}{I_H} (1 - \eta_H) = 0,5 \frac{130}{61} (1 - 0,845) = 0,16516 \Omega$$

Изчислението на естествените и изкуствените характеристики  $\omega=f(M)$  и  $\omega=f(I_k)$  са направени (табл. III-2) с помощта на универсалните характеристики

$\omega^* = f(I_k^*)$  и  $M^* = f(I_k^*)$  за двигател с последователно възбуждане, приведени в относителни единици. Графично са представени на фиг. III-3.

Таблица III-2

|                                             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $I_k^*$                                     | 0,30  | 0,50  | 0,70  | 1,00  | 1,20  | 1,50  | 1,60  | 2,00  | 2,30  |
| $I_k = I_k^* I_H$                           | 18,3  | 30,5  | 42,7  | 61,0  | 73,2  | 91,5  | 97,6  | 122,0 | 140,3 |
| $\omega^*$                                  | 2,15  | 1,60  | 1,26  | 1,00  | 0,90  | 0,79  | 0,76  | 0,65  | 0,57  |
| $\omega = \omega^* \omega_H$                | 190,9 | 142,7 | 112,5 | 89,00 | 80,37 | 70,31 | 67,46 | 57,41 | 50,29 |
| $M^*$                                       | 0,18  | 0,36  | 0,58  | 1,00  | 1,32  | 1,94  | 2,19  | 3,31  | 4,16  |
| $M = M^* M_H$                               | 15,04 | 29,76 | 47,43 | 82,20 | 108,8 | 159,1 | 180,4 | 272,1 | 341,9 |
| $\omega_H, U_k=32,5V$<br>$R_d=0,306\Omega,$ | 35,90 | 20,70 | 11,33 | 2,79  | -1,36 | -6,49 | -7,99 | -13,1 | -15,8 |
| $\omega_H, U_k=32,5V$                       | 44,32 | 31,35 | 23,28 | 16,64 | 13,91 | 10,64 | 9,70  | 6,45  | 4,39  |
| $\omega_H, U_k=65V$                         | 93,18 | 68,46 | 53,02 | 40,76 | 36,06 | 30,53 | 28,96 | 23,44 | 19,69 |
| $\omega_{ест}$                              | 190,9 | 142,7 | 112,5 | 89,00 | 80,37 | 70,31 | 67,46 | 57,41 | 50,29 |



Фиг. III-3. Електромеханични характеристики на задвижването на тяговия двигател ДРТ-13М при управление с контролер КРВ-2, приведени към водещите колела.

$$\text{Където } \omega_H = \frac{2\pi \cdot n_H}{60} = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = 89 \text{ sec}^{-1};$$

$$c\Phi_H = \frac{U_H - I_H R_k}{\omega_H} = \frac{130 - 61,0 \cdot 0,16516}{89} = 1,347 \text{ V} \cdot \text{sec}$$

$$M_H = c\Phi_H I_H = 1,347.61 = 82,2 \text{ Nm}$$

Аналогични изчисления са направени и за реостатното управление на локомотива АМ8 (които също са обект на модернизация) с контролер ГР-9М-1 в двигателен режим се включват четири допълнителни съпротивления, като на отделните позиции на контролера се превключват последователно и паралелно, а двигателите са включени към цялото батерийно напрежение също последователно и паралелно.

### **3.2. Регулиране на електрозадвижването с безконтактно транзисторно управление.**

Предложено е безконтактно управление с използване на транзисторни регулатори със следните предимства:

- плавно безстепенно регулиране;
- оптимален режим за ускоряване, съобразен с двигателите, с необходимите тягови качества и със самия регулатор, включително и при крайна позиция на контролера;
- ограничаване на тока до предварително избран максимум, с което се облекчава режима на батерията, защитават се двигателите и механичната част от недопустими претоварвания;
- защита от недопустими повишени и понижени напрежения;
- използване на електрическо спиране, без опасност за двигателя и регулатора;
- бездъгова комутация на контакторите чрез които се избира режимът на работа на локомотива.

#### **3.2.1. Изчисляване на електрозадвижването.**

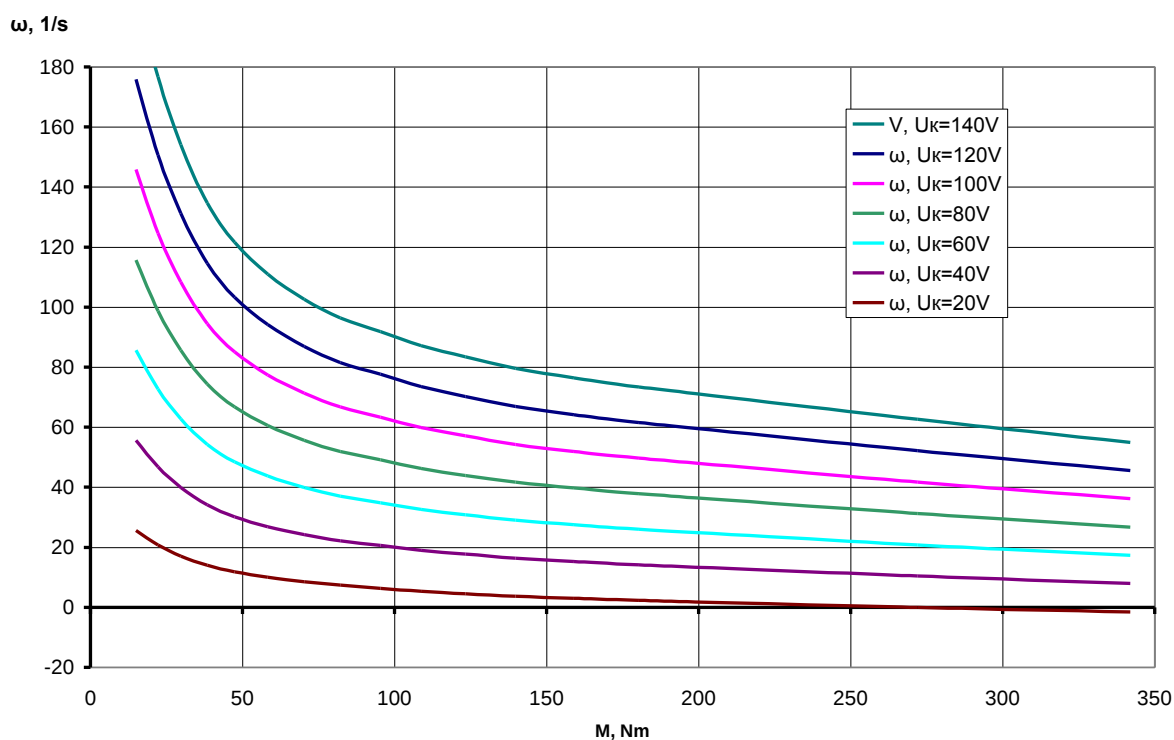
##### **3.2.1.1. Изчисляване на характеристиките на задвижването.**

При управление на електрозадвижването с импулсен регулатор, ако се пренебрегне падът на напрежение в крайното му стъпало ( $U_0 < 0,5V$ ), на котвената намотка се подава напрежение  $U_k = (0 \div 1)U_6$ . Тогава съгласно изразът П-29 се получават семейство изкуствени механични характеристики,

изчисленията на които са дадени в табл. III-4 и графично представени на фиг. III-6

Таблица III-4

|                              |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $I^*_K$                      | 0,30  | 0,50  | 0,70  | 1,00  | 1,20  | 1,60  | 2,00  | 2,30  |
| $I_K = I^*_K I_H$            | 18,30 | 30,50 | 42,70 | 61,00 | 73,20 | 97,60 | 122,0 | 140,3 |
| $\omega^*$                   | 2,15  | 1,60  | 1,26  | 1,00  | 0,90  | 0,76  | 0,65  | 0,57  |
| $\omega = \omega^* \omega_H$ | 190,9 | 142,7 | 112,5 | 89,00 | 80,37 | 67,46 | 57,41 | 50,29 |
| $M^*$                        | 0,18  | 0,36  | 0,58  | 1,00  | 1,32  | 2,19  | 3,31  | 4,16  |
| $M = M^* M_H$                | 15,04 | 29,76 | 47,43 | 82,20 | 108,8 | 180,4 | 272,1 | 341,9 |
| $\omega_{и}, 1/s (U_K=120V)$ | 175,9 | 131,3 | 103,4 | 81,58 | 73,55 | 61,54 | 52,18 | 45,58 |
| $\omega_{и}, 1/s (U_K=100V)$ | 145,8 | 108,4 | 85,05 | 66,74 | 59,92 | 49,69 | 41,73 | 36,16 |
| $\omega_{и}, 1/s (U_K=80V)$  | 115,7 | 85,58 | 66,75 | 51,89 | 46,29 | 37,84 | 31,28 | 26,75 |
| $\omega_{и}, 1/s (U_K=60V)$  | 85,66 | 62,75 | 48,45 | 37,05 | 32,66 | 25,99 | 20,82 | 17,34 |
| $\omega_{и}, 1/s (U_K=40V)$  | 55,59 | 39,92 | 30,15 | 22,21 | 19,02 | 14,15 | 10,37 | 7,92  |
| $\omega_{и}, 1/s (U_K=20V)$  | 25,53 | 17,08 | 11,85 | 7,37  | 5,39  | 2,30  | -0,08 | -1,49 |

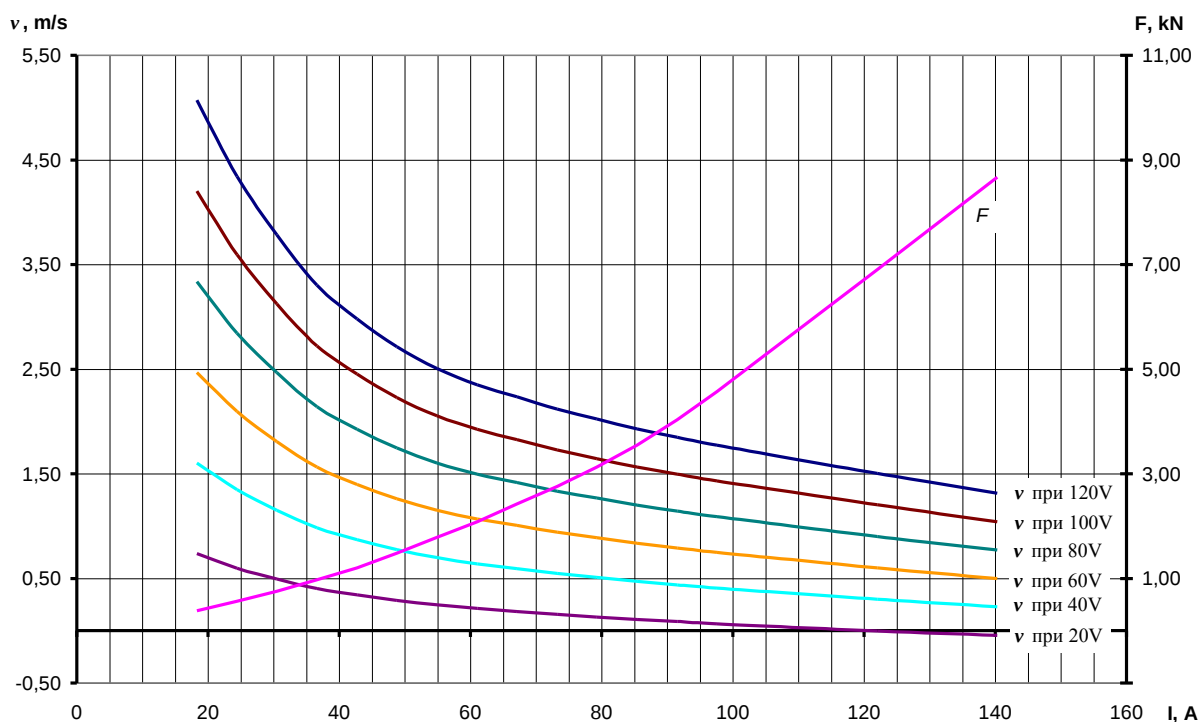


Фиг. III-6. Семейство механични характеристики при управление с импулсен регулатор

В табл. III-5 са дадени резултатите от изчисленията, а на фиг. III-7 са показани електромеханичните характеристики на тяговия електродвигател ДРТ-13М, приведени към колелата на локомотива с диаметър 680 mm, предавателно отношение на редуктора  $i=10,97$  и к.п.д. на предавката  $\eta_{np}=0,93$

Таблица III-5

|                    |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| I <sub>к</sub> , A | 18,3 | 24,4 | 36,6 | 48,8 | 61,0 | 79,3 | 85,4 | 91,5 | 122,0 | 140,3 |
| F, kN              | 0,38 | 0,56 | 0,97 | 1,48 | 2,08 | 3,13 | 3,54 | 4,03 | 6,90  | 8,67  |
| V, m/s (U=120V)    | 5,07 | 4,34 | 3,30 | 2,72 | 2,35 | 2,02 | 1,93 | 1,85 | 1,50  | 1,31  |
| V, m/s (U=100V)    | 4,20 | 3,59 | 2,72 | 2,23 | 1,92 | 1,65 | 1,56 | 1,50 | 1,20  | 1,04  |
| V, m/s (U=80V)     | 3,34 | 2,85 | 2,14 | 1,75 | 1,50 | 1,27 | 1,20 | 1,14 | 0,90  | 0,77  |
| V, m/s (U=60V)     | 2,47 | 2,10 | 1,56 | 1,26 | 1,07 | 0,89 | 0,84 | 0,79 | 0,60  | 0,50  |
| V, m/s (U=40V)     | 1,60 | 1,35 | 0,98 | 0,77 | 0,64 | 0,51 | 0,47 | 0,44 | 0,30  | 0,23  |
| V, m/s (U=20V)     | 0,74 | 0,60 | 0,40 | 0,29 | 0,21 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,00  | -0,04 |



Фиг. III-7. Електромеханични характеристики на задвижването на тяговия двигател ДРТ-13М при управление с импулсен регулатор, приведени към водещите колела.

### 3.2.1.1. Изчисляване на теглителната сила $F=f(v)$ .

При двудвигателно задвижване, рамата на локомотива сумира теглителните сили на двата двигателя. Тогава общата теглителна сила  $F$ , приведена към периферията на колелата ще бъде

$$F_i = \frac{2 \cdot M_i \cdot i_T \cdot \eta_T \cdot \eta_\partial}{D}, [N]$$

където  $M_i$  е развиваният от двигателят момент

$i_T = 10,97$  – предавателното число на редуктора

$\eta_T = 0,92 \div 0,96$  – к.п.д. на зъбната предавка

$\eta_T = 0,845$  – к.п.д. на двигателите

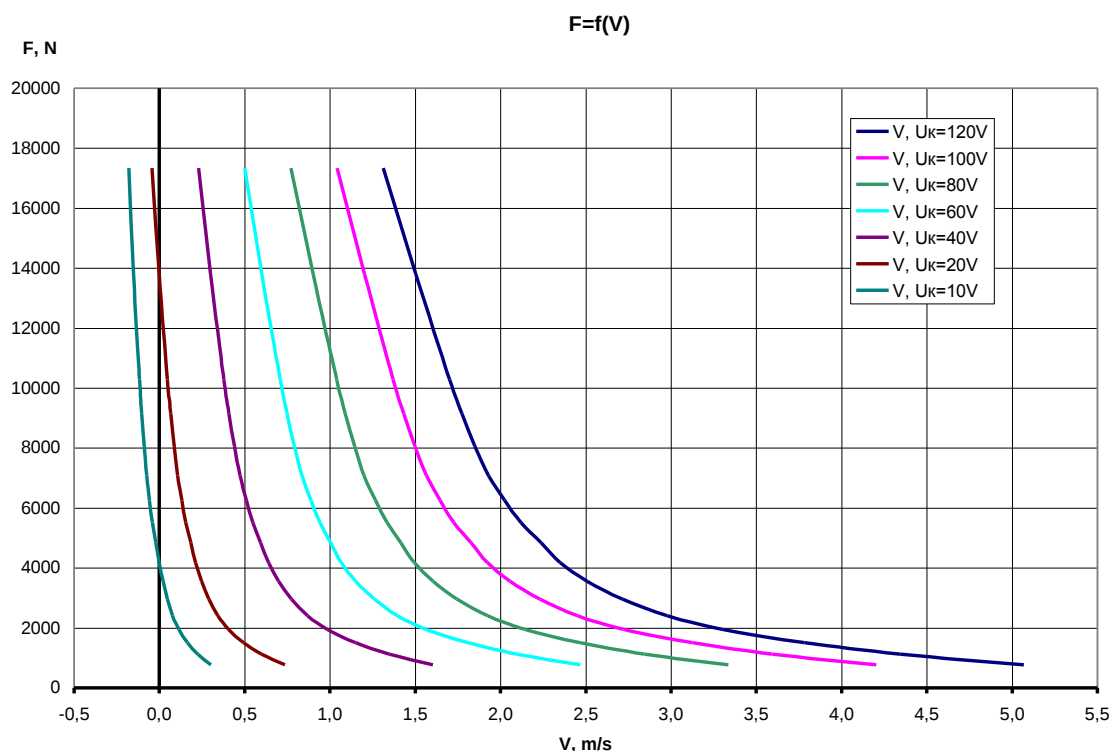
$D = 680 \text{ mm}$  – диаметър на водещите колела

Скоростта на движение ще бъде:

$$V = \frac{\omega_i \cdot D}{2 \cdot i_T}, [m.s^{-1}]$$

където  $\omega_i$  е ъгловата скорост на двигателя за точка от съответната характеристика (естествена или изкуствена).

На фиг. III-8 са показани семейство характеристики на теглителната сила  $F=f(V)$  на локомотива във функция от скоростта.



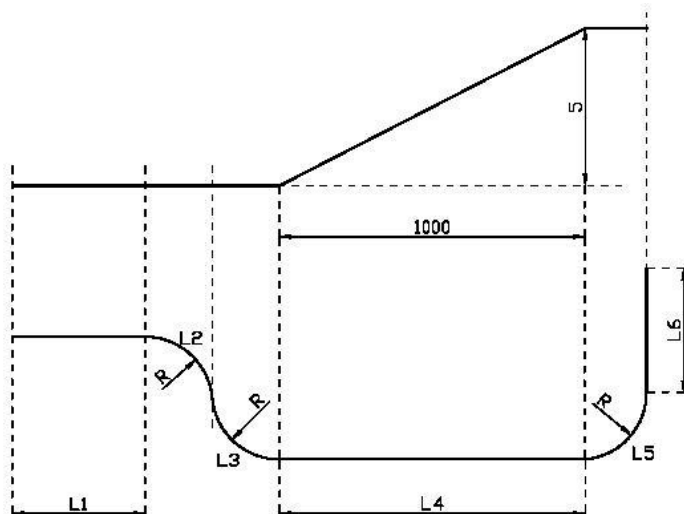
Фиг. III-8. Семейство характеристики на теглителната сила  $F=f(V)$  на локомотива с импулсно управление във функция от скоростта.

### III.2.1.1. Изчисляване на тяговите диаграми .

Основното съдържание на тяговите изчисления е построяване на кривите на движение на състава, представляващи графично изображение на зависимостите между скоростта на движение на състава, изминатия път и времето, т.е.  $v = f(t)$ ,  $v = f(l)$  и  $t = f(l)$ . Тези криви се строят, чрез решение на основното уравнение на движението. Условието на подземният извоз (наличие

на постоянен по големина наклон, голяма дължина и незначителна скорост на движение и, като следствие на това, значителна големина на периода за установяване на движението) позволяват значително да се опростят изчисленията.

За да бъде направен анализ на движението на влаковият състав е използван примерния условен експлоатационен цикъл от фиг. III-11, характерен за работа в рудничния двор или разтоварна площадка.



$$L1=80m$$

$$L2=25m \text{ и радиус } R=15m$$

$$L3=25m \text{ и радиус } R=15m$$

$$L4=1725m$$

$$L5=25m \text{ и радиус } R=15m$$

$$L6=120m$$

Фиг. III-11. Път на подвижният състав

Като ограничителни условия за движението са определени максимално допустимите съпротивителни сили:

- при тръгване

$$F_{c \max} = P_{cy} \cdot \psi = 9,81 \cdot 8000 \cdot 0,24 = 18835N$$

- при движение с подсипване на пясък

$$F_{c \max} = P_{cy} \cdot \psi = 9,81 \cdot 8000 \cdot 0,17 = 13341N$$

- при движение без подсипване на пясък

$$F_{c \max} = P_{cy} \cdot \psi = 9,81 \cdot 8000 \cdot 0,12 = 9417N$$

В първоначалният момент на тръгване на влака, когато връзките между локомотива и първия вагон (а така също и между отделните вагони са охлабени) скоростта клони към нула, а от там и ускорението  $\frac{dv}{dt} \rightarrow 0$ . Тогава:

$$F = \Sigma W,$$

където  $\Sigma W$  е пълното съпротивление при потегляне на локомотива, обусловено от собственото му тегло, относителното основно съпротивление и относителното съпротивление при потегляне, т.е.

$$F = g.M.w_{0n} = g.P.1,4w_0 = 9,81.8000.1,4.0,010 = 1100N$$

За да се получи движение е необходимо пусковата сила  $F_{\text{пуск}} > \Sigma W$ , т.е.

$$F_{\text{пуск}} > 1100N$$

За сравнение при реостатно задвижване на локомотива АМ8Д в първа позиция на командоконтролера (последователно включени двигатели и допълнително съпротивление, равно на  $0,306\Omega$ ), пусковата сила е около  $5000N$  (фиг. III-3). При това ускорението, което получава в началото състава е:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F - \Sigma W}{M(1 + \gamma)} = \frac{F_{\text{пуск}} - g.M_{\text{л}}.1,4w_0}{M_{\text{л}}(1 + \gamma)} = \frac{5000 - 9,81.8000.1,4.0,01}{8000.1,075} = 0,45m/s^2$$

При импулсно управление пусковата сила плавно се увеличава (липсват фиксирани позиции на командоконтролера) и зависи от скоростта на увеличение на отслабеното магнитно поле на двигателите, т.е. най-вече от действието на машиниста, като теоретично (при  $F_{\text{пуск}} = 18835N$  се изменя от 0 до  $2,06 m/s^2$ . На практика дори при максимално задание от командоконтролера, изменението на изходното напрежение (а от там и тока подаван от ИП към двигателя) до стойността на батерийното напрежение ще бъде в рамките на няколко секунди, при което максималното ускорение при потегляне на локомотива ще бъде в рамките на  $0,5 m/s^2$ .

След първоначалното задвижване на колелата на локомотива следва опъване на тегличните връзки към първия и следващите вагони, при което съпротивителната сила на състава нараства (обусловена от постепенно увеличаващото се тегло на потеглящите вагони и от увеличаващото се инерционно съпротивление на движещите се вече локомотив и вагони), а от там трябва да нарасне и теглителната сила  $F$ . Тъй като скоростта е в обратна зависимост от теглителната сила, то максимална скорост ще има при  $\frac{dv}{dt} = 0$  на най-високата характеристика, при  $F = \Sigma W$

За натоварен влаков състав за участък L1 от условния експлоатационен цикъл, теглителната сила  $F$  при която ще има равномерно движение на приведения в движение състав (т.е.  $\frac{dv}{dt} = 0$ ) ще бъде:

$$F = g \cdot (M_{\text{л}} + \Sigma M_{\text{е}}) \cdot (w_0 + w_i + w_n) = 9,81 \cdot 37120 \cdot 0,034 = 12380 N$$

Максималната скорост на движение при тази сила за праволинеен участък без наклон и натоварен състав, съгласно скоростната характеристика (фиг. III-7) при максимално напрежение на изхода на ИП (120V), ще бъде около 1,48 m/s (5,3 km/h).

Ако се използва методът на постоянните ускорения, времето при потегляне (при  $\frac{dv}{dt} = 0,5 \text{ m/s}^2$ ) за което ще се достигне до максималната скорост за участък L1 ще бъде:

$$t_1 = \frac{v_{\text{ycm}}}{\frac{dv}{dt}} = \frac{1,48}{0,5} \approx 3 \text{ s},$$

при което ще бъде изминат път

$$l_1 = \frac{v_{\text{ycm}} \cdot t_1}{2} \approx 2,2 \text{ m}.$$

Тогава за останалият път от участък L1, времето за движение с постоянна скорост ще бъде:

$$t_2 = \frac{(l - l_1)}{v_{\text{ycm}}} = \frac{77,8}{1,48} \approx 53 \text{ s}$$

За най-дългият участък на движение с постоянна скорост (L4) времето за изминаването му ще бъде:

$$t_2 = \frac{L4}{v_{\text{ycm}}} = \frac{1725}{1,55} \approx 1113 \text{ s}$$

Аналогично за участък L6 при празен състав, тази теглителна сила (при  $\frac{dv}{dt} = 0$ ) ще бъде:

$$F = g \cdot (M_{\text{л}} + \Sigma M_{\text{е}}) \cdot (w_0 + w_i + w_n) = 9,81 \cdot 18400 \cdot 0,045 = 8120 N,$$

което ще отговаря на максимална скорост на движение 1,86 m/s (6,7 km/h).

Лесно могат да бъдат изчислени теглителните сили и съответстващите максимални стойности и за другите участъци от условия експлоатационен цикъл. Резултатите от изчисленията са дадени в табл. III-6.

Таблица III-6

|           |                  | L1            | L2            | L3            | L4            | L5            | L6            |
|-----------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|           | L, m             | 80            | 25            | 25            | 1725          | 25            | 120           |
| натоварен | w                | 0,034         | 0,050         | 0,050         | 0,037         | 0,050         | - 0,022       |
|           | F, N             | 12380         | 18210         | 18210         | 13470         | 18210         | - 8010        |
|           | V, m/s<br>(km/h) | 1,48<br>(5,3) | 1,25<br>(4,5) | 1,25<br>(4,5) | 1,55<br>(5,6) | 1,25<br>(4,5) | 1,86<br>(6,7) |
|           | t, s             | 3+53          | 20            | 20            | 1113          | 20            | 48+32         |
| празен    | w                | - 0,023       | 0,061         | 0,061         | - 0,028       | 0,061         | 0,045         |
|           | F, N             | - 4150        | 11010         | 11010         | - 5050        | 11010         | 8120          |
|           | V, m/s<br>(km/h) | 2,36<br>(8,5) | 1,64<br>(5,9) | 1,64<br>(5,9) | 2,7<br>(7,9)  | 1,64<br>(5,9) | 1,86<br>(6,7) |
|           | t, s             | 28+10         | 15            | 15            | 639           | 15            | 3+63          |

Знакът “-“ за относителното съпротивление на движението означава, че е необходимо да се създаде допълнителна съпротивителна (спирачна) сила, за да остане неизменна скоростта. Скоростта на състава ще започне за намалява само когато спирачната сила е по-голяма, и ще се увеличава при по-малка спирачна сила. За да се получи необходимата спирачна сила може да бъде използвана механичната спирачка на локомотива, или да се премине в режим на противовключване на двигателите. При преминаване в режим на противовключване на ИР, токът преминава през нулевата стойност при което се гаси противоелектродвижещото напрежение на двигателя и се ограничава на 100А. През времето на реверсиране може да се допусне, че скоростта на състава (а от там и ъгловата скорост на двигателите) е останала неизменна, което ще отговаря на максимална сила 10400N.

В случая на натоварен състав и спиране с противовключване за участък L1, ускорението ще бъде:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{-(\Sigma W + B)}{M(1 + \gamma)} = \frac{-(-8010 + 10400)}{37120 \cdot 1,075} = -0,06 m/s^2$$

Времето, необходимо за пълното спиране на състава ще бъде:

$$t_{L6} = \frac{V_{ycm}}{a_6} + t_0 = \frac{1,86}{0,06} + 3 = 34s ,$$

където  $t_0$  е сумарното време за реакция на водача и задаване на максималния спирачен ток, s.

Спирачният път ще бъде:

$$l_6 = \frac{v_{ycm} \cdot t_{L6}}{2} = \frac{1,86 \cdot 34}{2} = 31,6m$$

От последното се вижда, че за избраната дължина на участъка ( $L_6=120m$ ) спирането може да бъде осъществено само по електрически начин.

Аналогично при спирането на ненатоварен състав в участък L1, ускорението ще бъде:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{-(\Sigma W + B)}{M(1 + \gamma)} = \frac{-(-4150 + 10400)}{18400 \cdot 1,075} = -0,32m/s^2$$

Времето, необходимо за пълното спиране на състава ще бъде:

$$t_{L1} = \frac{V_{ycm}}{a_6} = \frac{2,36}{0,32} + 3 = 10,4s ,$$

а спирачният път ще бъде:

$$l_1 = \frac{v_{ycm} \cdot t_{L6}}{2} = \frac{2,36 \cdot 10,4}{2} = 12,27m$$

Минималното общо време  $\Sigma t$  за изминаване на целия път при натоварен състав ще бъде 1309 s (22 min) и 785 s (13 min) за ненатоварен състав по обратния път.

В действителност средната скорост на движение е по-ниска от установената (максималната) не само за сметка на периодите за ускорение и спиране, но и за сметка на намаляване на скоростта при понижаване на захранващото напрежение, намаляване на скоростта преминаване на криви и стрелки, пробоксувания на колелата на локомотива и т.н. Поради това се препоръчва въвеждане на коефициент 0,75 отчитащ указаното по-горе намаление на скоростта [24], а именно:

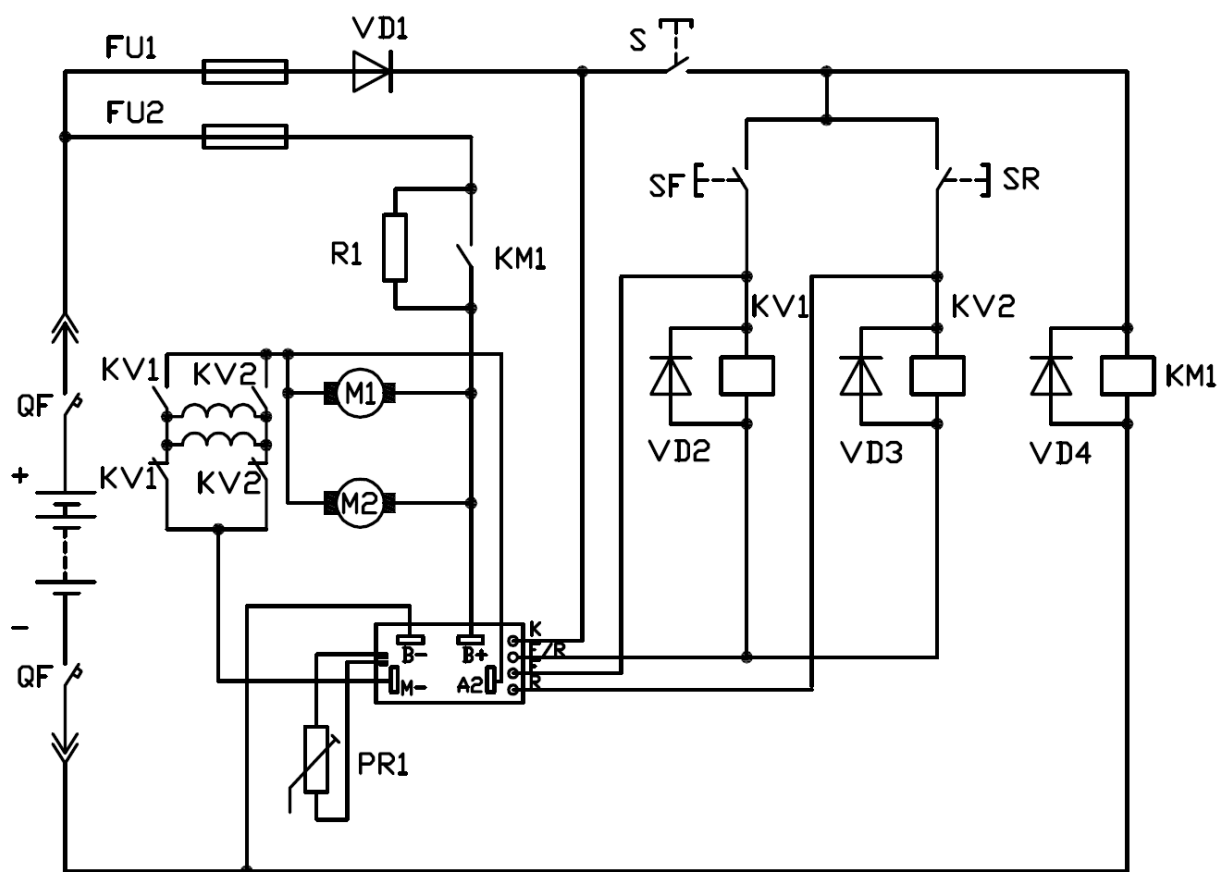
$$v_x = 0,75 \cdot v_{ycm} .$$

При това времето на движение на пълния състав ще бъде 1745 s (29 min), а на ненатоварения – 1047 s (17,5 min), или 46,5 min чисто време за изминаване на цикъла (без да се отчитат маневри, товарене, разтоварване и т.н.).

### 3.2.2. Схеми за управление на акумулаторни локомотиви с транзисторни регулатори.

#### 3.2.2.1. Принципи схеми за управление на акумулаторни локомотиви.

Идеята за безконтактно управление на руднични акумулаторни локомотиви се заражда у преподаватели от МГУ “Св. Ив. Рилски”, сред които е и автора. Първоначално са разработени, осъществени и експериментирани в руднични условия [47, 49, 69, 92, 93] два варианта на безконтактни контролери на базата на регулатори 1221-74 (Curtis-Instruments) [88] показани на фигури III-12 и III-13.



Фиг. III-12. Схема на безконтактно управление с един импулсен регулатор.

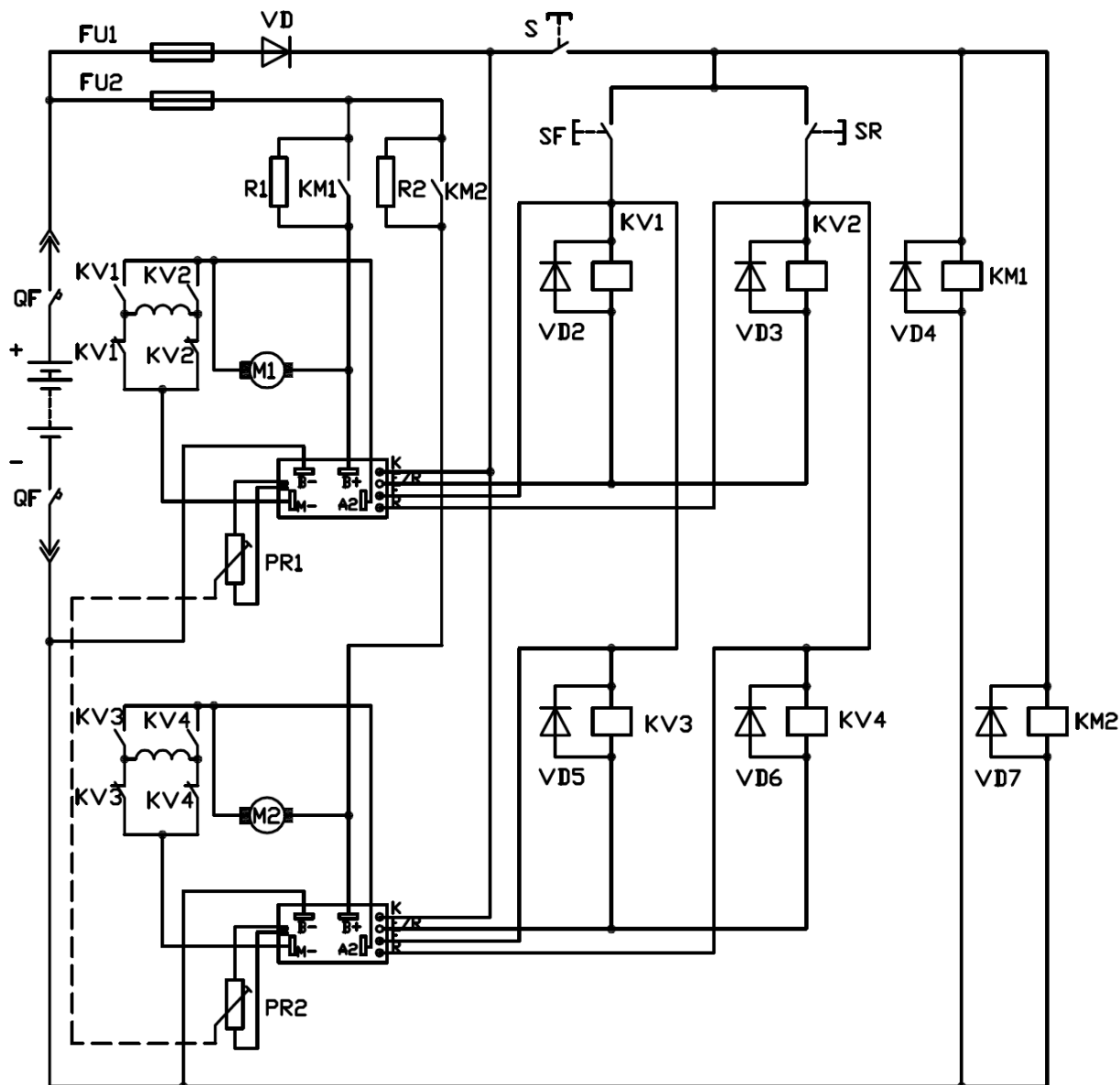
Регулаторите са за напрежение 120V, часов ток 150A и максимален ток - 400A и са изградени от полупроводникови метал-оксидни полеви транзистори (MOSFET), които гарантират много добри възможности за регулиране, чрез

широчинно-импулсна модулация и при малки загуби. Така например мощността, която разсейват транзисторите при ток 100А е 50 W (при задвижваща мощност 12kW), т.е. загубите в транзисторите са едва 0,4% – значително по-малки в сравнение с тиристорите.

Конструкцията на контролера е на базата на използвания в локомотивите електромеханичен контролер ГР-9М-1, в който са елиминирани контактните елементи но е запазен принципа за степените за да не се нарушава стереотипа на машиниста [47]. Механизмът, фиксиращ степените е разработен в два варианта: с малки корекции на механизма, използван в електромеханичния контролер (при един регулатор) и с новоконструиран механизъм (при два регулатора).

В съответствие с възприетите принципи е запазена съществуващата механична блокировка между ръчките за управление на контролера. От конструкцията му са запазени възвръщащата пружина, задвижващият лост и микропревключвателите. Въртеливото движение на ръчката за управление чрез подходяща предавка (гърбица) се трансформира в постъпателно такова на работния орган на резистивния орган за управление PR1. Това осигурява строго определен, фиксиран ход на същия, а от там и на строго определена стойност на съпротивлението му за всяко едно от фиксираните положения на ръчката за управление на контролера.

Характерно за схемата от фиг. III-12 е, че управлението на двата двигателя става само с един импулсен регулатор и един орган за управление. Тя е приложима за акумулаторни локомотиви от типа 4,5АРП с двигатели до 7kW.



Фиг. III-13. Схема на безконтактно управление с два импулсни регулатора.

За по-големите локомотиви (AM8, AM8Д) е разработена схемата, показана на фиг. III-13. Различието при нея е, че всеки двигател се управлява от отделни импулсен преобразувател, команден орган и контактори.

И при двете схеми за управление на контролера е запазена степента на взривозащита – ExdI [Пр. 9].

### 3.2.2.2. Система за управление на движението и електрооборудването на руднични акумулаторни локомотиви AM8Д с бездъгова комутация.

Използването на съществуващите контролери е свързано с редица трудности (ограничен обем, затруднено охлаждане на регулаторите и т.н.). Разположението им в кабината на локомотива затруднява работата на машиниста и прави невъзможно обучението на стажант-машинисти. Всичко

това наложи разработването на цялостна система за управление на движението и конструиране на нова конструкция на контролера [19, 57].

Системата за управление осигурява:

- Избор на посоката на движение;
- Избор на режим на работа на задвижването - двигателен и спирачен;
- Реверсиране на тяговите електродвигатели;
- Плавно изменение на напрежението на тяговите двигатели и скоростта на движение
- Плавно регулиране на електрическото спиране на локомотива;
- Осъществяване на начало на движение на локомотива само от нулева позиция на ръчката за управление на пулта, а също така и връщане на ръчката за управление в нулево положение, след прекратяване на въздействието върху нея от машиниста;
- Нулеви блокировки;
- Ограничаване на тока на тяговите двигатели както в тягов, така и в спирачен режим;
- Невъзможност за управление на локомотива, когато машиниста се намира извън кабината или в изправено положение в кабината;
- Управление на тяговите двигатели и електрообзавеждането на два локомотива АМ8Д, т. е. локомотив 2АМ8Д (сдвоени локомотиви);
- Защита от недопустимо понижаване на захранващото напрежение (напрежението в батерията);
- Захранване със стабилизирано напрежение 24V на помощното електрообзавеждане на локомотива;
- Управление на осветлението и звуковата сигнализация;

Системата е предназначена за управление на движението и електрообзавеждането на рудничните акумулаторни локомотиви с постояннотоково задвижване АМ8Д (2АМ8Д), АРВ7 за работа в рудници за добив на въглища с опасен газ и прах.

### 3.2.2.2.2. Устройство и принцип на работа.

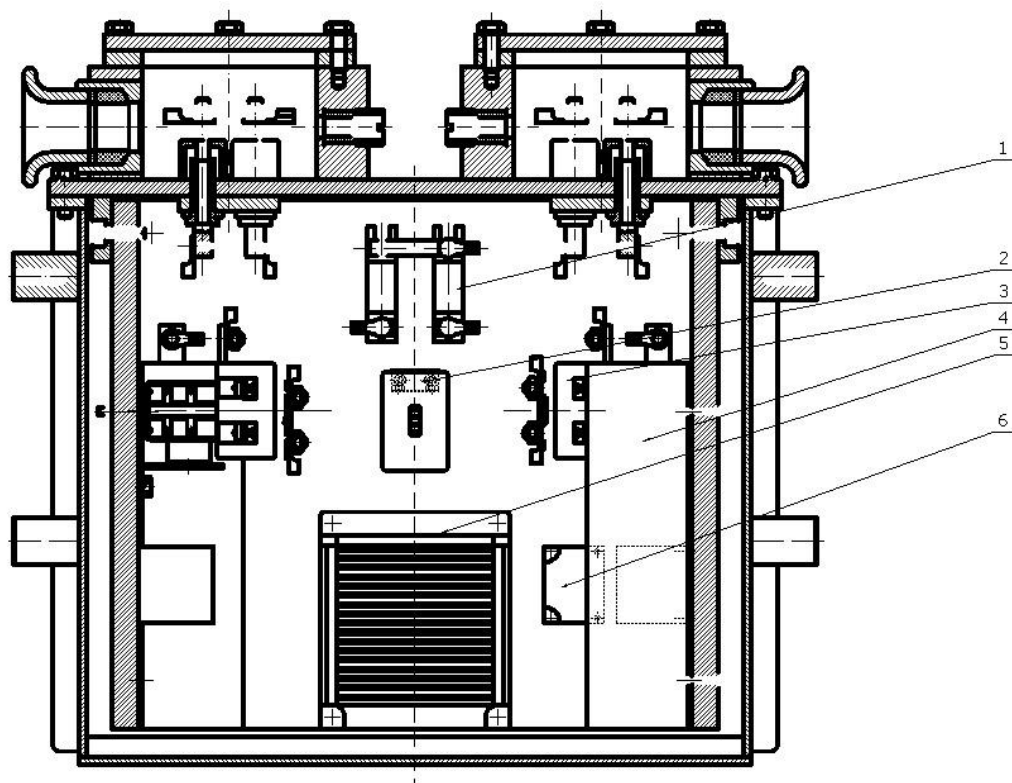
Електрооборудването на модернизирания локомотив включва в себе си електронно управление, състоящо се от:

- силов блок
- пулт за управление

Силовият блок е предназначен за присъединяване на силовото оборудване на рудничния акумулаторен локомотив АМ8Д с бездъгова комутация (АУБ).

Силовият блок представлява взривозащитена обвивка, в която са монтирани:

- импулсните регулатори Curtis / PMC 1221-74 - 2 бр., по един за всеки двигател.
- контактори: главен – 1 бр., реверсивни - 2 бр., спомагателни – 3 бр.
- предпазители – 2 бр.
- преобразовател на напрежение DC/DC 60/24V - 1 бр.



Фиг. III-14. Силов блок

Регулирането на скоростта на двигателите при движение и при спиране се осъществява с транзисторните импулсни регулатори CURTIS (4), (фиг. III-14) за всеки двигател. За включване и реверсиране се използват контактори за

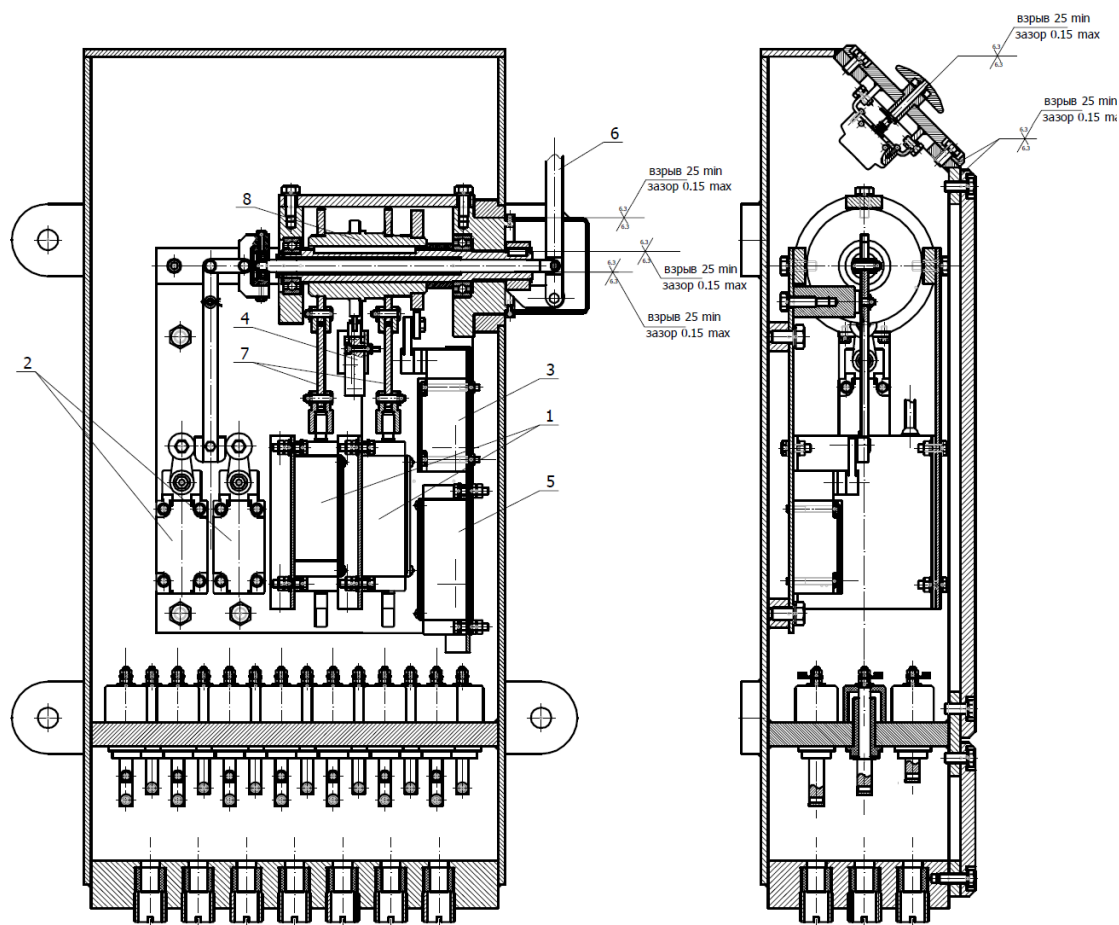
постоянен ток, работещи в режим на бездъгова комутация (2) и (3). Бобините на контакторите се комутират от спомагателни контактори 6.

Преобразователят на напрежение (5) е предназначен за захранване на:

- системите за осветление и сигнализация;
- звуковото двутонално сигнално устройство
- скоростомера
- спомагателните контактори
- междинния блок за управление

За защита на регулаторите от възможни къси съединения, в силовата верига са поставени предпазители (1).

Пултът за управление (фиг. III-16) представлява взривонепроницаема обвивка, разположена в кабината на машиниста. В корпуса ѝ е разположен блока за управление на движението на локомотива и органите за управление на електрооборудването – светлината и звуковата сигнализация, контактен ключ, аварийен стоп.



Фиг. III-16. Пулт за управление.

Пултът за управление се състои от корпус, лицева плоча и блок за управление (фиг. III-16). В долната част на корпуса е оформена входна камера за въвеждане на кабелите. На лицевата плоча са монтирани:

- контактен ключ
- аварийен стоп
- превключвател на светлините на фаровете (къси, дълги)
- два бутона за управление на звуковата сигнализация

Блока за управление е изготвен като отделно изделие, което се вгражда в пулта за управление. Състои се от основна плоча, на която са монтирани органите за управление, които чрез профилни дискове и лостова система въздействат на крайни изключватели и реверсивни преобразуватели за управление на импулсните преобразуватели в силовия.

В блока за управление са монтирани:

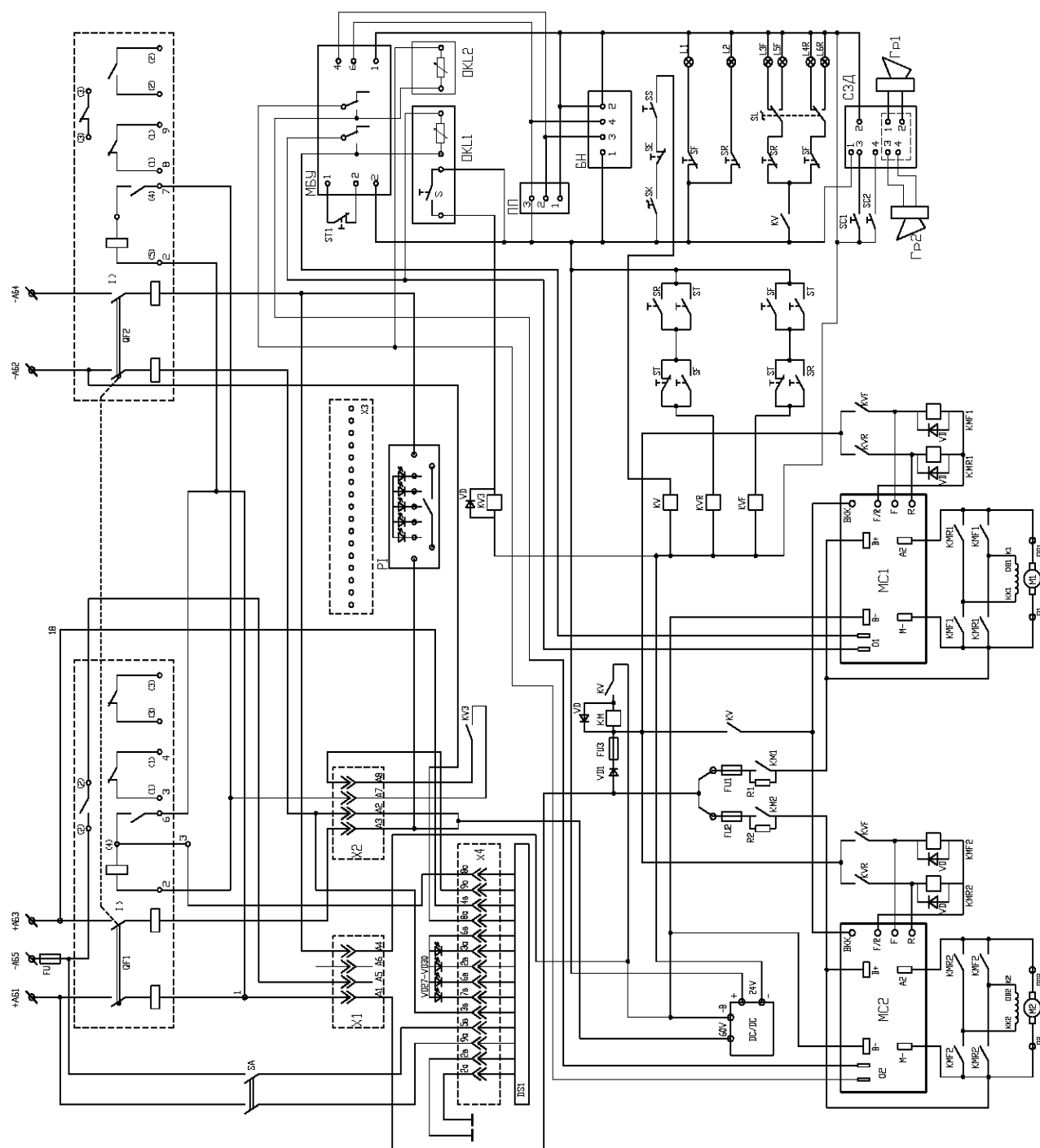
- Резистивни преобразователи (1), за формиране на управляващ сигнал за импулсните регулатори - тип OKL (фиг. III-16)
- Микропревключватели за определяне на движението “напред”, “назад” 2 и за спирачния режим 3 - тип ХСК-J.
- Микропревключвател (4) за регистриране на спирачния режим – тип ZSMD 21;
- Междиен блок за управление МБУ (5).

Органите за управление на електрооборудването на локомотива са монтирани на лицевия панел на пулта за управление (фиг. III-16):

- **Аварийен стоп** предназначен за бързо изключване на главния контактор и прекъсване на захранващото напрежение към импулсния регулатор, респективно към двигателите.
- **Два бутона** предназначени за управлението управление на звуковата сигнализация.
- **Контактен ключ** даващ възможност за подаване на захранване към схемата за управление.

- **Управление на осветлението** осъществява превключването на светлините “къси-дълги”.

На фиг. III-19 е показана електрическата схема на модернизираното електрообзавеждане на локомотива.



Фиг. III-19. Принципна схема за управление.

За управлението на сдвоени локомотиви 2АМ8Д е разработена конструктивна и схемна документация. Принципът на работа е аналогичен на

гореописаната система за управление. Различието е в осигуряване на управление на задвижването само от кабината на единия локомотив. Управляващите сигнали и блокировки са осъществени по стандартната връзка между двата локомотива.

Тъй като спирането на локомотива може да бъде осъществено с противовключване на двигателите, е възможно започване на движение в обратна посока. С цел предотвратяване на неконтролируемото движение е специално разработен междинен блок за управление (МБУ), работещ съвместно с датчика за скорост на локомотива.

### **Изводи:**

1. Разработени са оригинални схеми за управление на акумулаторни локомотиви, базирани на транзисторни регулатори с MOSFET-транзистори и които са в основата на серийно въведените.

2. Конструирани са взривозащитени конструкции на силов блок и блок за управление, включително с динамично спиране, които след изпитване са внедрени в модернизирани локомотиви.

## **Глава IV – Модернизиране на акумулаторните батерии и зарядните устройства.**

### **4.1 Тягови оловни акумулаторни батерии във взривозащитено изпълнение.**

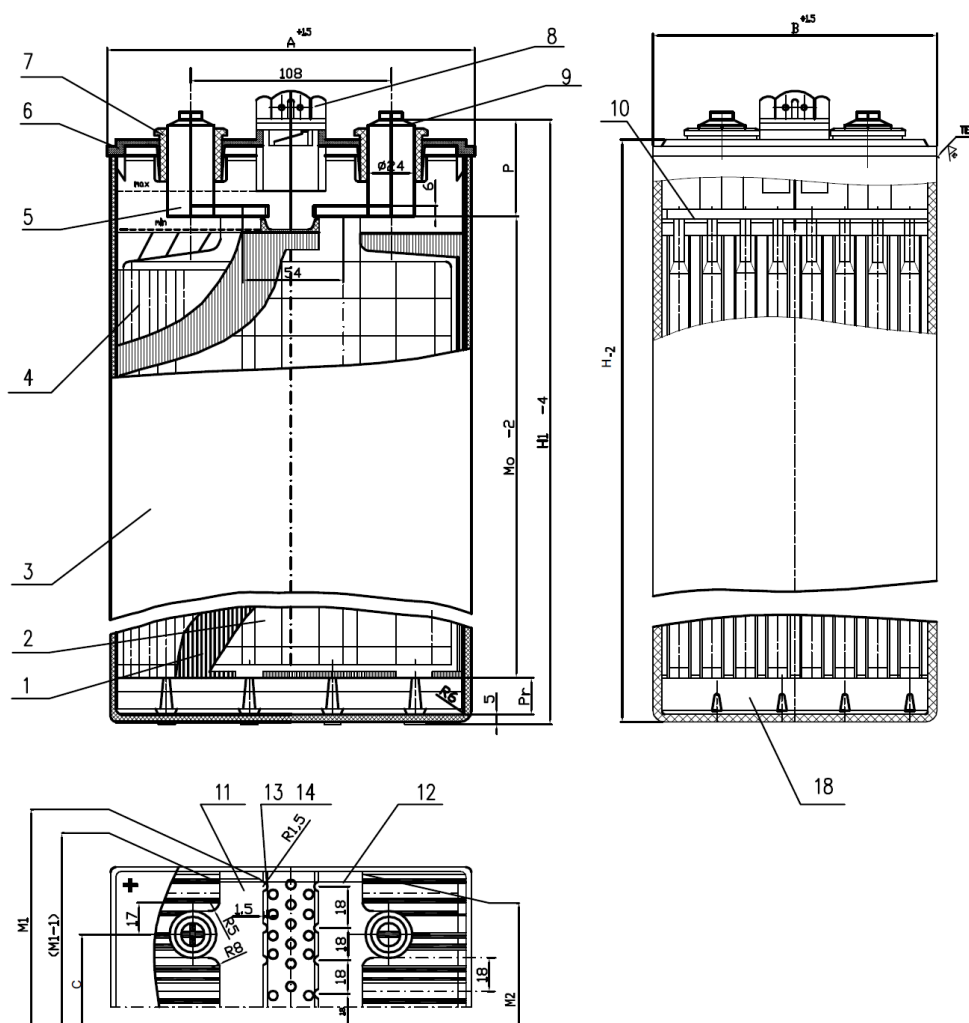
Тяговите оловни батерии, панцерна конструкция във взривозащитено изпълнение ExeI са разработени в периода 1996 -1999 г. като резултат на съвместна дейност на специалисти от “Енергия” АД - Търговище и преподаватели от Минно-геоложки университет.

Първоначално са разработени и промишлено изпитани тягови батерии 2x30x7PzS 385-4b и 2x30x8PzS 440-4b за локомотив AM8 с нормални габарити на коша, както и 3x20x8PzS 440-4b за такива със стеснен габарит, а по-късно 2x36x7PzS 560-4b и 2x36x8PzS 640-4b за локомотиви 13APП1.

Всички модификации на тяговите батерии са във взривозащитено изпълнение ExeI и са предназначени за работа във взривоопасна среда, но в зони в които при нормална експлоатация не се образува взривоопасна смес. Те

са разработени специално за руднични акумулаторни локомотиви [46], които се прилагат за транспорт и маневрени операции в минни изработки с чиста вентилационна струя - руднични дворове, галерии и др., в съответствие с изискването на действащите нормативни документи [55, 56].

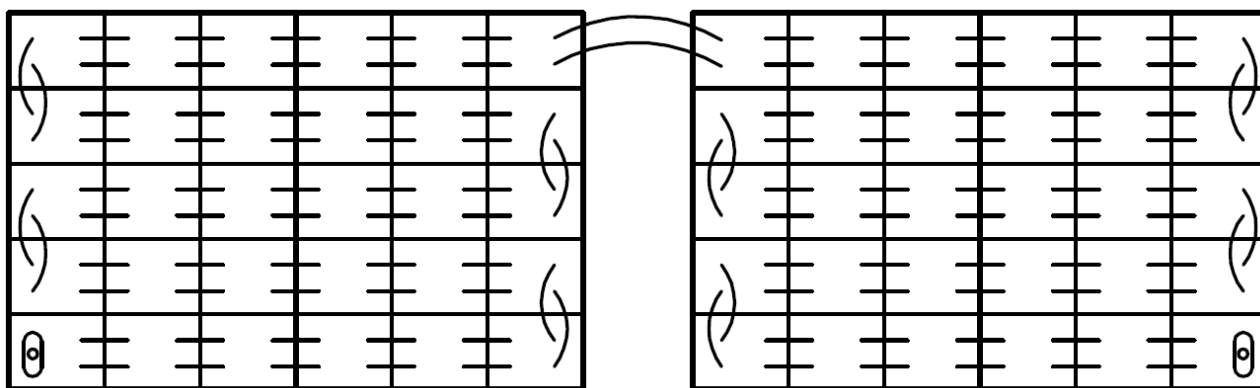
Батериите са изградени на базата на модули, съставени от отделни акумулаторни елементи, които са разработени със специална конструкция - с по две изводни клеми за всеки полюс (фиг. IV.1), съгласно изискванията на БДС 6403-83, БДС 6414-84 и БДС 11623-83.



Фиг. IV.1. Акумулаторен елемент за руднични локомотиви.

Батериите, предназначени за електролокомотиви от типа АМ8 (АМ8Д) с нормални (заводски) размери на коша са изпълнени с две съставни батерии по 60 V, съдържащи по 30 акумулатора. Начинът на оформянето и свързването между отделните елементи в съставните батерии, както и връзката помежду им

е показана на фиг. IV.2, който се отнася за акумулаторна батерия 2x30x8PzS 440-4b, която е с напрежение 120 V и капацитет 440Ah.



Фиг. IV.2. Акумулаторна батерия 2x30x8PzS 440-4b

При конфигуриране разположението на всички модификации акумулатори в модулите напрежението на разряд между два съседни елемента не превишава 25 V. Всяка съставна батерия е разделена с преграда на две части, като напрежението във всеки сектор не надвишава 40 V: за батериите с капацитет 385 Ah напрежението в сектора е 20 V, а за батериите с капацитет 440 Ah, напрежението р. сектора е 30 V.

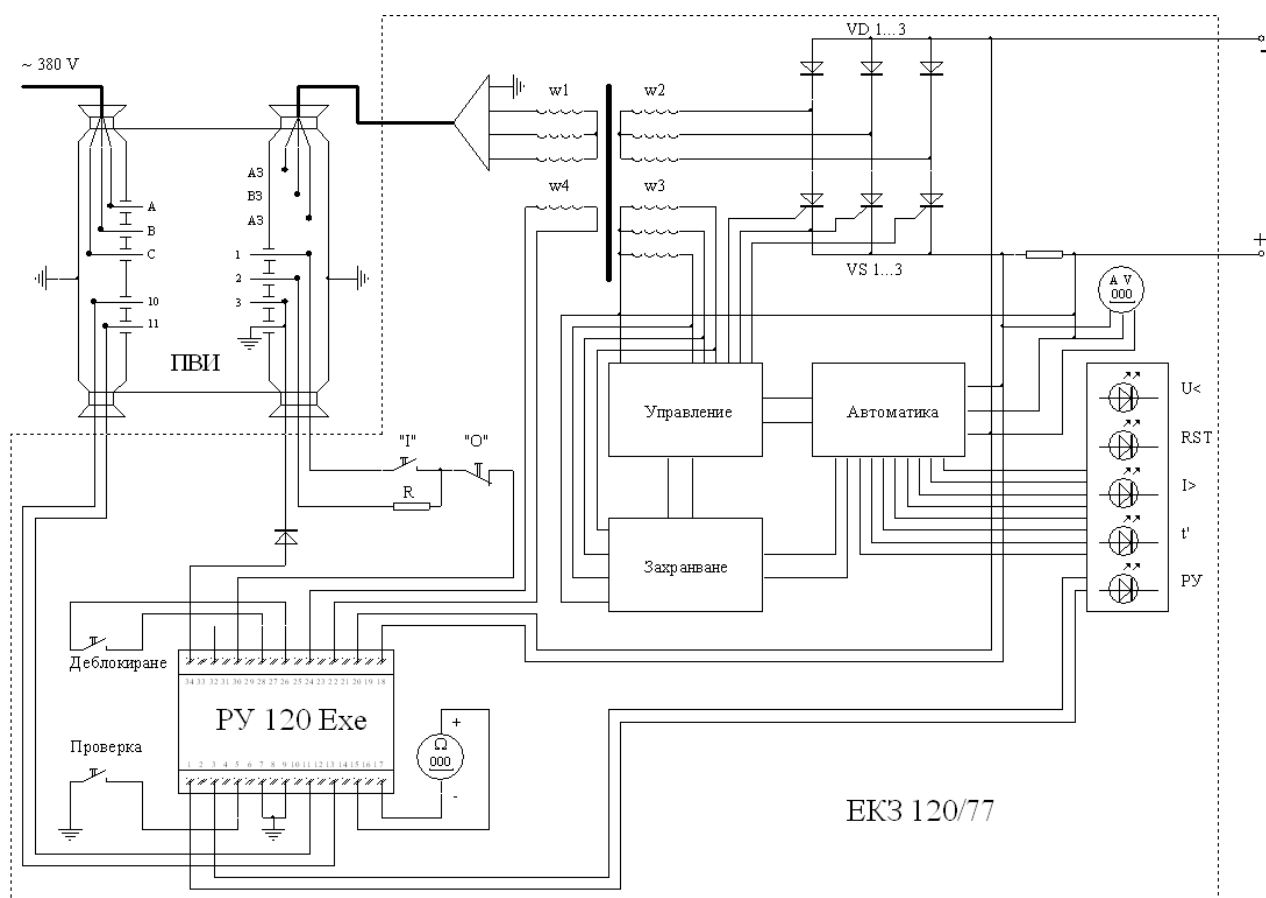
На 57-ми “Международен технически панаир Пловдив – 2001” тяговата батерия за руднични локомотиви 2x30x7PzS 385-4b е наградена със златен медал [Прил. 13].

## 4.2. Зарядни устройства

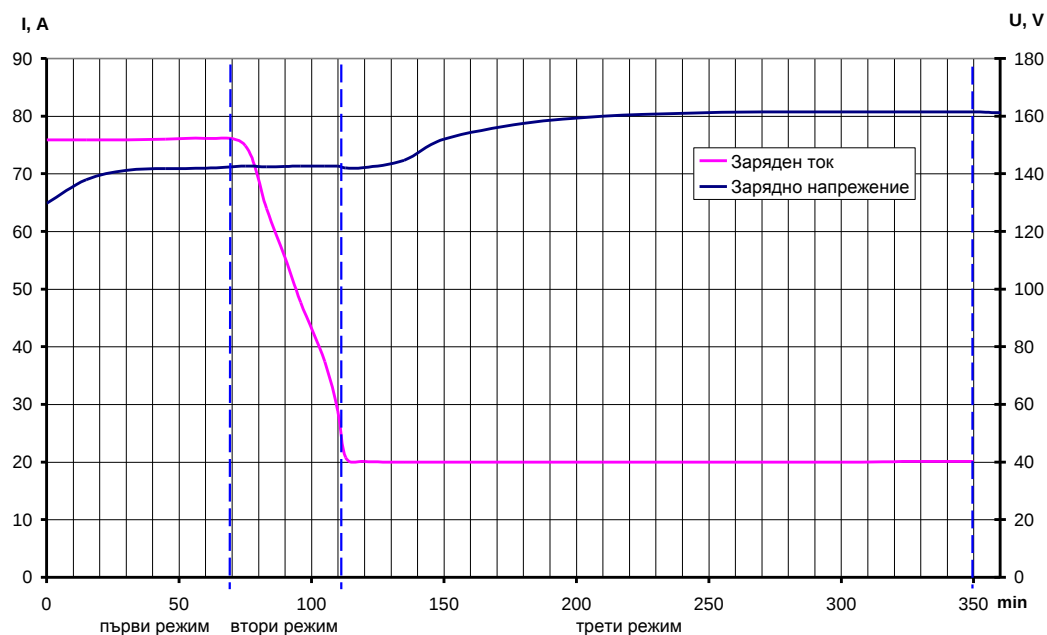
### 4.2.1. Технология

При рудничните акумулаторни батерии продължителността на зарядния цикъл е определена от сменното време на работа. Времето на заряд не бива да бъде повече от 6-7 часа. Оптималната продължителност и кривата на заряда на тяговите акумулаторни батерии зависи от степента на разреденост на батериите. При всички степени на разреденост от 10 до 100 % , тяговите акумулаторни батерии може да бъдат заредени до 5-6 часа. При различната степен на разреденост кривите на заряд (изменението на зарядния ток и зарядното електрическо напрежение) ще бъдат различни.

Свързването на изправителя ЕКЗ 120/77 към електрическата мрежа 380 V става чрез пускател в руднично взривозащитено изпълнение с искробезопасна схема за дистанционно управление. Бутоните за управление на пускателя "пуск I" , "стоп 0" и за проверка на релето от утечки са монтирани на лицевия панел на токоизправителя.



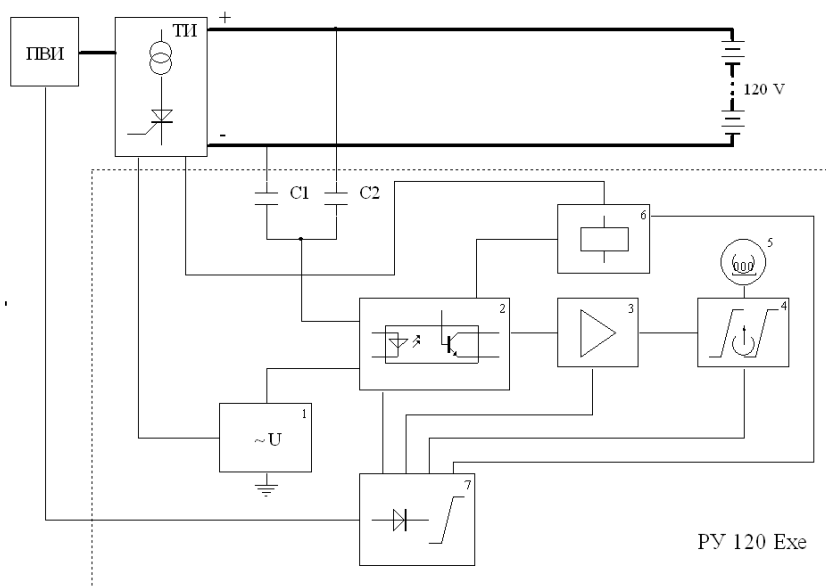
Процеса на зареждане е напълно автоматизиран и се осъществява без участието на оператора, който би могъл при необходимост да го прекъсне. На фиг. IV-7 е показана опитно снета зарядна характеристика на акумулаторна батерия 2x30x7PzS385-4b.



Фиг. IV-7. Зарядна характеристика на батерия 2x30x7PzS 385-4b с ЕКЗ 120/77

Пълният заряд на батерията е 6 часа (фиг. III-7) и заедно с поставянето и свалянето ѝ на зарядния стенд, може да бъде извършено в рамките на работната смяна.

Тъй като в процеса на зареждане напрежението значително превишава 120 V към зарядното устройство е предвидена защита от тока на утечка [30] със съответната индикация. На фигура IV-9 е показана блоковата схема на разработеното устройство за защита от тока на утечка РУ120Ехе.



Фиг. IV-9. Блокова схема на устройство за непрекъснат контрол на изолационното съпротивление РУ120Ехе

При проектиране на устройството за контрол на изолацията са взети в предвид действащите в България, Русия и Украйна стандарти за взривозащита.

Разработеното от автора устройството за контрол на изолацията РУ120Ехе (фиг. III-10) е във взривозащитено изпълнение ExmI и е предназначено за вграждане в токоизправителни устройства за руднични акумулаторни локомотиви и отговаря на изискванията на [13, 14, 17]. Заедно с токоизправителя ЕКЗ 120/77 получава от МакНИИ сертификат за взривозащита и разрешение за използване в подземните въглищни рудници на Украйна.

### **Изводи:**

1. Осъществена е идеята за приложение на оловни батерии в рудничните акумулаторни локомотиви.
2. Разработени са нови конструкции оловни тягови батерии, съгласно изискванията на БДС и ГОСТ, отличени със златен медал на 57 Международен пловдивски панаир.
3. Създадени са оригинални схеми с приложение на съвременни технологии за зарядни устройства, предназначени за оловни батерии.
4. Разработена е оригинална схема и конструкция на реле от тока на утечка.
5. Батериите, зарядните устройства и релето от утечки са сертифицирани от МАКНИИ – Украйна.

## **5. Експериментални изследвания. Внедряване.**

### **5.1. Лабораторни изследвания.**

В лабораторни условия беше тествана функционалната работа на контролера с импулсен регулатор и потенциален орган за управление по схемата от фиг. III-13. Целта на изследванията бе да се провери работата на механичната конструкция на схемата за управление.

Заклученията от направените изследвания бяха:

- необходимост от корекция на механизма за линейно преместване на командния орган, поради неизползваемостта на седма позиция на командоконтролера;

- поради значителния спад на напрежение в свързващите проводници е необходима замяна на потенциалния команден орган с резистивен;
- токът на късо съединение на двигателите не надвишава максимално допустимия за регулаторите.

## **5.2. Експериментални изследвания в руднични условия.**

Първите опитни образци на руднични оловни тягови батерии в взривозащитено изпълнение ExeI са поставени на локомотив АМ8 в р-к “Мламолово” на мини “Бобов дол” през 1997г. с капацитет 350Ah; и втора батерия с капацитет 440 Ah [47]. През 1999 година са поставени две батерии с капацитет 385Ah в тунела на р-к “Елаците”. Безупречната им работа е документирана [Приложения: 2,4,5].

По-късно Украинската НПП “Енергия” ООД от гр. Донецк поставя на руднични изпитания батерии с капацитет 385Ah и капацитет 440Ah в минни предприятия от Донецкия басейн. Резултатите от изпитанията са изцяло положителни, което дава основание и са сертифицирани от МакНИИ.

За рудничните акумулаторни локомотиви АМ8 бе експериментирана схемата за управление от фиг. III-13 в промишлени условия на р-к “Мламолово” [Приложения: 1, 2, 4], мина “Г. Господинова” [Приложение 3], а по-късно и в подземни рудници на Украйна.

През 1997г. в рудник “Мламолово” при Мини “Бобов дол”-АД беше експериментирана схемата за управление на модернизирания електровоз АМ8 с безконтактен контролер БК1 (по схемата от фиг. III-13) и оловна тягова акумулаторна батерия 2x30x5PzS350. За зареждане на батерията зарядната станция на рудника беше снабдена със зарядно устройство ЕКЗ 120/70.

Изводите от експлоатационните изпитания бяха:

1. Акумулаторната батерия 2x30x5PzS350 може да се експлоатира в условията на р-к “Мламолово”;
2. В режим на разреждане, според работния цикъл на локомотива, параметрите на акумулаторната батерия остават в рамките на допустимите стойности.

3. Времето за зареждане на акумулаторната батерия след разреждането ѝ, породено от експлоатацията на локомотива е в рамките на една работна смяна.

4. Зарядното устройство ЕКЗ 120/70 работи нормално в реалните руднични условия и осигурява предписаните режими на зареждане.

5. За управление на модернизирания локомотив не е нужно допълнително обучение на машиниста.

6. Техническият ефект от внедряването на АМ8 с БК1 и акумулаторна батерия 2x30x5ПАС 350 в производствените условия на р-к “Мламолово” е положителен [Прил. 6].

Подобни експерименти и изводи бяха направени и в мина “Г. Господинова” [Прил. 3], а по-късно и в подземни рудници в Украйна.

През 2000г. в промишлени условия на подземни рудници от Донецкия басейн са проведени изпитания за съответствие с хигиенните норми на акумулаторна батерия 2x30x7PzS385 от “Красноармейская городская санэпидстанция Донецкой области” и “НДІ МЕР, м. Донецьк”, като заключенията са, че батериите се допускат за експлоатация за електрозахранване на руднични акумулаторни локомотиви [Прил. 11, 12].

### **5.3. Експериментални заводски изследвания.**

Разработената “Система за управление на движението и електрооборудването на руднични акумулаторни локомотиви АМ8Д с бездъгова комутация” е изцяло изпитана в заводски условия.

През 2002г. в ОАО “Дружковский машиностроительный завод” е изготвена програма и методика за заводски изпитвания на батериен сандък за рудничен акумулаторен локомотив АМ8Д, комплектувана с акумулаторна батерия 2x30x7PzS385.

Заключението от проведените изпитания е, че батериен сандък, комплектуван с акумулаторна батерия 2x30x7PzS385 напълно отговаря на изискванията и може да се експлоатират при електрозахранване на руднични акумулаторни локомотиви.

В периода 06.05.2002г. до 05.06.2002г. в ОАО “Дружковский машиностроительный завод” бяха извършени пълни изпитвания на рудничен акумулаторен локомотив АМ8Д, комплектуван с акумулаторна батерия 2x30x7PzS385 и “Система за управление на движението и електрооборудването на руднични акумулаторни локомотиви АМ8Д с бездъгова комутация” (система за управление “АУБ”). Изпитванията бяха направени на специализиран изпитвателен полигон, който се използва за изпитване на произвеждани локомотиви в завода. Изводите на комисията бяха, че силовата част на управлението на тяговите двигатели в часов и продължителен режим издържат на изпитанията. Бяха направени препоръки за отстраняване на някои недостатъци на опитния образец [Прил. 7].

Констатираните недостатъци от заводските изпитания бяха отстранени и в периода 8.07.2003 до 16.07.2003г. отново в ОАО “Дружковский машиностроительный завод” бяха извършени пълни стендови изпитания на рудничен акумулаторен локомотив АМ8Д, комплектуван с акумулаторна батерия 6x10x7PzS385 и “Система за управление на движението и електрооборудването на руднични акумулаторни локомотиви АМ8Д с бездъгова комутация”.

При изпитанията се констатира следното:

- Батерийното напрежение се изменяше в границите 128...110V, както в двигателен, така и в спирачен режим;
- оборудването на рамата на локомотива е разположено компактно и позволява на машиниста оперативно, без излишни движения да го управлява. Благодарение на оригиналната конструкция на батерийния сандък, се осигурява обзор на машиниста при обратно движение в рамките на 2,5m;
- предвидена е възможност за разполагане на място за стажант;
- параметрите на часовия режим, при натоварване на всеки един от двигателите с ток 122A, проведени на “стенд СЕЭ” и “стенд – кольцо” са:
  - скорост – 2,2 m/s (7,3 km/h)
  - тягова сила – 12,8 kN

- параметрите на продължителния режим, при натоварване на всеки един от двигателите с ток 61А са:

- скорост – 2,9 m/s (10 km/h)
- тягова сила – 4,7 kN

- температурата на стените на силовия блок, в който са закрепени регулаторите е в пределите 40-50 °С;

- токоограничението в спирачен режим е 100А;

- предвидена е нулева блокировка и блокировка, изключваща управлението на локомотива, ако машиниста не е седнал на мястото си;

- спирачният път на локомотива със състав от вагони с нормативна маса, измерена на влажни релси е 19 m.

Изводите на комисията бяха, че локомотивът АМ8Д-900 заедно със системата за управление напълно е издържала изпитанията [Прил. 8] и може да се счита, че отговаря на всички действащи нормативни документи в Украйна.

#### **5.4. Техничко-икономическа ефективност от модернизацията.**

За да се направи сравнителна оценка на изразходваната електрическа енергия от акумулаторен локомотив с реостатно управление и модернизиран с безконтактно транзисторно управление е взет за пример локомотив АМ8Д и релсов път с обща дължина на един цикъл за извозване на материала съгласно условният експлоатационен цикъл от фиг. III-11. За простота е избрано сравнително просто трасе, но долуописаната методика може да бъде прилагана за реални трасета със сложна конфигурация. Приема се, че по време на курса на влаковия състав ще има по едно потегляне и по едно спиране в посока.

Загубите на енергия при управлението на акумулаторни локомотиви се дължат най-вече на загубите в пусковите съпротивления. При акумулаторния локомотив АМ8Д те са две, със стойности  $R_1=0,306\Omega$  и  $R_2=0,204\Omega$ .  $R_1$  се използва и във двигателния (позиция 1 на командоконтролера) и в спирачния режим (позиции Т1 и Т2), а  $R_2$  – само в спирачния режим. При рудничния акумулаторен локомотив АМ8 поради по-големите пускови съпротивления (и като брой също) загубите ще бъдат още по-големи в сравнение с АМ8Д.

При двигателен режим на АМ8Д в позиция 1 на командоконтролера, т.е. при потегляне, маневриране и преодоляване на криви с малък радиус, загубата на електроенергия в R1 ще бъде:

$$A_{R1} = 0,306 \int_{t_1}^{t_2} I_{en}^2 dt, \text{ Wh.}$$

Очевидно загубите ще зависят от съпротивлението при движението на състава  $w$  и продължителността на маневриране.

Абсолютният разход на електроенергия зависи от масата на влаковия състав в натоварено и пълно състояние.

$$M_{np} = P + nQ = 8000 + 8.1300 = 18400 \text{ kg}$$

$$M_{nam} = P + n(Q + Q_m) = 37120 \text{ kg}$$

$$Q_m = \frac{k_n}{k_p} v_0 \rho = 2340 \text{ kg}$$

където:  $n$  – броя на вагоните

$Q_m$  – масата на товара

$k_n = 0,9 \div 1,15$  – коефициент на напълване на влака

$k_p = 1,4$  – коефициент на разбухване на транспортния материал в насипно състояние

$\rho = 1300 \text{ kg/m}^3$  – плътност на транспортирания материал

$v_0 = 2,5 \text{ m}^3$  – полезна вместимост на вагона

При определянето на относителните съпротивления, действащи на влаковия състав са използвани както коефициенти, намерили практическо приложение, така и изчислени в зависимост от конкретните условия на задачата.

Изразходваната енергия за движението на влаковия състав е:

$$A' = \frac{g}{\eta_l} \left[ M_{nam} \sum_{i=1}^n w_i' L_i + M_{np} \sum_{i=1}^n w_i'' L_i \right] = 21674661 \text{ J} = 6,02 \text{ kWh}$$

където  $\eta_l = 0,7$  – к.п.д на локомотива [24]

Към нея трябва да се добави и загубите на електрическа енергия в пусковото съпротивление ( $A''$ ), както и загубата на енергия в батерията, маневриране, собствени нужди и т.н. ( $A'''$ ).

За дадения пример ако средната скорост при потегляне, маневриране и движение по криви е  $0,5\text{km/h}$  със средно консумиран ток от батерията  $250\text{A}$  (по данни от изследвания на автора и електромеханичните характеристики на двигателя), то средното време за изминаване на пътя ( $275\text{m}$ ) изискващ първа позиция на командоконтролера (последователно включено съпротивление  $0,306\Omega$  на двата двигателя) ще бъде около  $8\text{ min}$ , при което загубата в пусковото съпротивление ще бъде:

$$A'' = \frac{I_{cp}^2 R t}{60} = \frac{250^2 \cdot 0,306 \cdot 8}{60} = 2,55\text{kWh}$$

а загубата в батерията за маневриране, собствени нужди и т.н.

$$A''' = 0,25 \div 0,40(A' + A'') = 0,3(6,02 + 2,55) = 2,57\text{kWh}$$

Пълният разход на енергия ще бъде равен на  $11,14\text{ kWh}$  за рейс. Това определя специфичен разход от  $0,298\text{ kWh/tkm}$ .

Очевидно е, че загубите ( $A'' + A'''$ ) са съизмерими с полезната енергия ( $A'$ ) за движението на влака.

Явно е, че минимизиране на разходите за електроенергия може да се търси в няколко направления: безреостатно управление; замяна на железоникеловите батерии с оловни, имащи по-малко вътрешно съпротивление; намаляване на съпротивлението на релсовия път и т.н.

Ако в идеалния случай загубите  $A''$  станат равни на нула, то за пълният разход на електроенергия се получава

$$A = A' + 0,3A' = 6,02 + 0,3 \cdot 6,02 = 7,83\text{kWh}$$

Горните изчисления показват, че при безреостатно управление разходите на електроенергия от батерията могат да бъдат намалени с до около  $30\%$ . При замяна на управлението с регулатори 1221-74 на Curtis, загубите в електронните регулатори ще се определят от пада на напрежение  $U_0$  в изходните транзистори на регулаторите и протичащия ток към двигателите.

$$A'' = 2 \int U_0 I_{\partial \theta} dt$$

Ако допуснем, че средно 8 min влаковия състав ще се движи със среден ток на всеки двигател  $I_{cp1}=130A$ , а през останалия път (1725m) ще се движи 17 min със средна скорост 6km/h (1,67m/s), ток на всеки от двигателите  $I_{cp2}=I_{\text{ч}}=122A$ , то загубите на енергия в регулаторите са:

$$A'' = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot (8 \cdot 130 + 17 \cdot 122)}{60} = 66Wh = 0,035kWh$$

а загубата в батерията за маневриране, собствени нужди и т.н.

$$A''' = 0,25 \div 0,40(A' + A'') = 0,3(6,02 + 0,035) = 1,82kWh$$

Пълният разход на електроенергия ще е равен на 7,88 kWh, а специфичния разход – 0,210 kWh/tkm.

## 5.5. Внедряване

Всички модификации на тяговите батерии са внедрени в серийно производство [106] от “Енергия” АД - Търговище. Поради свиването на минната промишленост, само единични бройки се експлоатират в рудниците на България с капацитет 385Ah и 440Ah. В Украйна се експлоатират стотици батерии от всички модификации.

Зарядното устройство ЕК3120/77 е внедрено в серийно производство [107] от ВРЗ “Цар Калоян” – Разград. В България се експлоатират единични бройки, но в Украйна те са над сто. По-късно “Енергия” – Украйна също го внедряват в серийно производство под наименованието ЗУ 120/77-128 [109].

През 2003 г. колектив с участието на автора патентова в Украйна система за бездъгова комутация (АУБ-120-РВ) на базата на метал-оксидни полеви транзистори [53]. “Енергия” - Украйна внедряват патента в серийно производство на руднични акумулаторни локомотиви ЭРА900-П8 в изпълнение ExeI, ЭРА 900-В9 в изпълнение ExdI и двукабинния ЭРА-В10Д [109].

## Изводи:

1. Проведени са неколкогодишни успешни изпитвания на модернизирани локомотиви в рудници на България и Украйна, пълни заводски изпитвания в Украйна.

2. Чрез замяна на командоконтролера и пусковите съпротивления с безконтактен регулатор, абсолютния разход на електроенергия може да се намали с 20÷40 % в зависимост от конкретните условия. Това предполага продълъг живот на батерията и снижаване на експлоатационните разходи.
3. При безконтактното управление с реализираните схеми на транзисторно управление, практически липсва комутация под товар, с което се снижават до минимум ремонтните разходи и щетите от престой за ремонти на електромеханичните контакти.
4. Модернизирани единични акумулаторни локомотиви са въведени в експлоатация в България, но в Украйна се произвеждат серийно и се експлоатират стотици по разработената и патентована модернизация.

Постиженията в дисертационния труд могат да се систематизират по следния начин:

Направен е анализ на техническите възможности и мащабна реализация на модернизацията на акумулаторните електрически локомотиви за подземните рудници за добив на въглища и руда, обхващаща:

- Безконтактно управление на базата на регулатори с метал-оксидни транзистори, със синтезиране на оригинални схемни решения.
- Замяна на произвежданите от десетилетия железно-никелови алкални акумулатори с оловни (киселинни), доказвайки тяхната ефективност и формулирайки технологични изисквания към конструкцията и режима на зареждане.
- Възприемане и прилагане на съвременна технология на зареждане и разреждане на акумулаторните киселинни (оловни) батерии; синтез на зарядни устройства с използване на съвременни електронни елементи със средна и висока степен на интеграция; решаване на проблема със защита от токови утечки при зареждане.
- Теоретично и експериментално доказателство в реални руднични условия на техническата, икономическата и енергийна ефективност на модернизацията.

- Разработена и приложена методика за комплексно изпитване на модернизирани акумулаторни електролокомотиви – първоначално в подземни рудници в България, а по-късно и в специализиран заводски полигон и въглищни рудници на Украйна.
- Разработено е реле от тока на утечка с оригинална схема и конструкция.
- Осъществено е внедряване, частично (в няколко рудници в България) и серийно производство и експлоатация на модернизирани локомотиви в Украйна.

### **III. ПРЕТЕНЦИИ ЗА ПРИНОСИ**

От дисертационният труд може да се формулират следните приноси, които са с научно-приложен и приложен характер:

- Въвеждане в рудничните акумулаторни локомотиви на транзисторно управление;
- доказателство за ефективността на оловните тягови батерии и замяна на желязно-никеловите в рудничните акумулаторни локомотиви ;
- разработване на оловни тягови батерии във взривозащитено изпълнение ExeI;
- създаване на зарядни устройства за тягови оловни акумулаторни батерии с подходяща технология, схема и елементна база във взривозащитено изпълнение ExeI;
- разработване на оригинална схема на реле от тока на утечка за зарядните устройства;
- методика за оценка на технико-икономическата ефективност от предлаганата модернизация на рудничните акумулаторни локомотиви;
- с приложен принос са разработените методики и осъществени лабораторни, заводски и руднични изпитвания;
- приложен принос е и активното участие на автора във внедряването на модернизирани руднични акумулаторни локомотиви в България и Украйна.

#### **IV. ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА**

1. Джустров К., Икономически ефект при безконтактно управление на руднични акумулаторни локомотиви, 2007, София, Годишник на МГУ “Св. Ив. Рилски”, том 50, 147-149

2. Джустров К., Контрол на изолационното съпротивление на акумулаторни батерии за руднични акумулаторни локомотиви, 2007, София, Годишник на МГУ “Св. Ив. Рилски”, том 50, 141-145

3. Ментешев, М., Ив. Стоилов, К. Джустров. Електрообзавеждане на руднични акумулаторни локомотиви АМ-8 и АМ 8Д.-XIII Международна конференция ЕЛМА 2011, Варна, 80-85.

4. Патент 60932А, Володимирович Г., Якович К., Михайлович П. Ментешев М., Стоилов Ив., Джустров К., Пристїи для керування електроприводом і швидкістю руху акумуляторного рудникового локомотива, 2003, Україна

5. Menteshhev M., Stoilov Iv., Djustrov K., Georgiev Hr., 1998, Modernized electrical equipment for mining storage battery locomotives, Petrosani, Romania, Sesuine jubiliara 1948-1998, II. 258-266