

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Любарський Б.Г., Якунін Д.І., Овер'янова Л.В., Демидов О.В.

ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ,  
РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ  
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З АСИНХРОННИМ ТЯГОВИМ ДВИГУНОМ

Навчально-методичний посібник  
для студентів спеціальності 6.050702 «Електричний транспорт»  
усіх форм навчання

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою НТУ «ХПІ», протокол №2  
від 25.06.2015 року

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2015

УДК 629.424.1

ББК 39.235

3-17

Рецензенти:

*В.Г. Ягуп*, д-р техніч. наук, проф., каф. електропостачання міст,  
Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова

*М.В. Хворост*, д-р техніч. наук, проф., зав. кафедри, Харківський  
національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

У навчальному посібнику для двоколіїної електрифікованої ділянки залізниці з відомим профілем колії, двостороннім живленням і постом секціонування наведено методику вибору обладнання тягової підстанції, що забезпечує заданий графік руху поїздів з різними параметрами поїзда і типами локомотивів. Наведено програми й алгоритми розрахунків на ПЕОМ.

Призначено для студентів спеціальності «Електричний транспорт»

**Любарський Б.Г.**

3-17 Основи електричної тяги, режими роботи електрорухомого складу постійного струму з асинхронним тяговим двигуном. Для студентів спеціальності 6.050702 електричний транспорт усіх форм навчання : Навч.-метод. посібн. / Любарський Б.Г., Овер'янова Л.В., Якунін Д.І., Демидов О.В. – Х.: НТУ «ХП», 2015. – 205 с.

ISBN

В учебном пособии для двухпутного электрифицированного участка железной дороги с известным профилем пути, двухсторонним питанием и постом секционирования приводится методика выбора оборудования тяговой подстанции, обеспечивающей заданный график движения поездов с различными параметрами составов и типами локомотивов. Приведены программы и алгоритмы расчетов на ПЭВМ.

Предназначено для студентов специальности «Электрический транспорт».

Лл. 35. Табл.9. Библиогр. назв 10.

УДК 629.424.1

ББК 39.235

ISBN

© Б.Г.Любарський, Д.І. Якунін,  
Л.В.Овер'янова, О.В. Демидов, 2015

## ВСТУП

Пропонований навчальний посібник призначений для студентів спеціальності 050702 – «Електричний транспорт» як основне джерело теоретичного і методичного матеріалу, що використовується при виконанні дипломного проекту на звання бакалавра електромеханіки в галузі електричного транспорту. Цей проект базується на таких спеціальних курсах: «Основи електричної тяги», «Рухомий склад електротранспорту», «Системи управління електрорухомим складом», «Системи електропостачання електрорухомого складу», «Режими електропостачання електрорухомого складу».

Сучасний бакалавр-електромеханік в області електричного транспорту повинен розуміти дві обставини. Перша – електричний транспорт становить сукупність електрорухомого складу та системи його електропостачання. Друга – на сучасному рівні розвитку обчислювальної техніки існують практично необмежені можливості розрахунку та аналізу на стадії проектних розробок як окремих вузлів, конструкцій та пристроїв, що входять в електричний транспорт, так і поведінки нерозривної сукупності електрорухомого складу і системи його електропостачання в різних робочих ситуаціях шляхом математичного моделювання, що вирізняється порівняно незначним обсягом праці та матеріальними витратами. Матеріал цього навчального посібника підібраний та укомпонований згідно з необхідністю надання відчутної визначеності наведеним вище пріоритетам.

Мета проекту сформульована таким чином:

Для двоколісної електрифікованої ділянки залізниці постійного струму з відомим профілем колії, двостороннім живленням і постом секціонування необхідно обрати обладнання тягової підстанції, що

забезпечить заданий графік руху поїздів з відомими параметрами поїзда та локомотивами, що мають асинхронні тягові двигуни.

Посібник включає шість основних розділів.

У першому розділі наводяться вихідні дані та формулюються завдання проекту.

Другий розділ присвячено вирішенню тягової задачі, визначенню кривих руху та енергоспоживання окремого поїзда, а також обчисленню параметрів, що характеризують роботу тягової мережі.

Основні співвідношення, що використовуються під час розрахунків та аналізу роботи тягової мережі та підстанції при заданому графіку руху наведено в третьому розділі.

У четвертому розділі детальнішим чином розглянуто програмно-алгоритмічний комплекс (ПАК) на мові програмування "Delphi", який надає можливість згідно заданих конкретних параметрах досягти поставленої мети проекту.

Алгоритм вибору силового обладнання тягових підстанцій наведено в п'ятому розділі. Вимоги до оформлення проекту і приклад розрахунку викладені в шостому розділі.

Автори вдячні рецензентам: М.В. Хворосту, д-ру техн. наук, проф., завідувачу кафедри «Охорони праці» Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова, В.Г. Ягуп, д-ру техн. наук, професору каф. електропостачання міст Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова.

Матеріал цього посібника є розвитком в напрямку застосування локомотивів з асинхронними тяговими двигунами навчального посібника авторів В.І. Омеляєнка, М.М. Калюжного, Г.В. Омеляєнко, Б.Г. Любарського «Основи електричної тяги, системи та режими тягових мереж постійного струму» ( Харків: НТУ «ХП», 2002. – 162с).

## 1. МЕТА, ЗАДАЧІ ТА ВИХІДНІ ДАНІ

### 1.1. Мета проектування

Для двоколійної електрифікованої ділянки залізниці постійного струму з відомим профілем колії, з двостороннім живленням і постом секціонування необхідно обрати обладнання тягової підстанції, що забезпечить заданий графік руху поїздів з відомими параметрами поїзда та локомотивами, що мають асинхронні тягові двигуни.

### 1.2. Задачі проектування

1.2.1. Вирішити тягову задачу, визначити криві руху та енергетичні показники роботи електрорухомого складу:

- швидкість поїзда  $v(t)$ ;
- пройдений шлях  $s(t)$ ;
- споживаний електровозом струм  $i_s(t)$ ;
- витрати енергії на рух  $W(t)$ .

1.2.2. Виконати розрахунок режимів роботи тягової мережі та тягової підстанції, тобто визначити:

- струморозподіл між фідерами підстанцій та підстанціями від кожного з поїздів, що рухаються на ділянці;
- втрати напруги на пантографі кожного електровоза;
- втрати потужності в контактній та рейковій мережах та загальні втрати потужності;
- струм поста секціонування;
- середні значення струмів, що спрямовано підстанціями в тягову мережу;
- діюче значення випрямленого струму тягових підстанцій;
- повну потужність тягової підстанції, що використано на тягу поїздів;

– максимальне значення струму фідерів і струмів кожної з підстанцій.

1.2.3. Зробити вибір силового обладнання тягових підстанцій, яке забезпечить необхідні режими роботи тягової мережі.

### 1.3. Вихідні дані

Для проведення розрахунків і проектування тягових підстанцій задаються такі дані.

#### 1.3.1. Електровоз:

- тип електровоза;
- маса  $m_L$ , Т;
- довжина  $l_{\Pi}$ , м;
- розрахункова сила тяги  $F_K$ , кН;
- розрахункова швидкість  $V$ , км/год.

#### 1.3.2. Вагонний состав:

- загальна кількість вагонів,  $n_{об}$ ;
- кількість 8-вісних вагонів,  $n_8$ ;
- кількість 6-вісних вагонів,  $n_6$ ;
- кількість 4-вісних вагонів,  $n_4$ ;
- маса составу  $m_C$ , кг.

#### 1.3.3. Параметри руху:

- встановлена швидкість руху поїзда  $V_{уст}$ , м/с;
- допустиме прискорення руху для даного типу поїзда  $a_{доп}$ , м/с<sup>2</sup>.

#### 1.3.4. Параметри профілю колії:

- довжини ділянок  $l_K$ , м;
- ухили ділянок  $i_K$ , ‰;
- радіуси кривих на ділянках  $R_K$ , м;
- довжини кривих  $S_{крк}$ , м.

### 1.3.5. Параметри тягової мережі:

- відстань між підстанціями  $l$ , м;
- відстань від підстанції до поста секціонування  $l_C$ , м;
- питомий опір контактної мережі  $r_{КС}$ , Ом/м;
- питомий опір рейкової мережі  $r_{РС}$ , Ом/м.

1.3.6. Графік руху поїздів, що задається часом затримки відправлення всіх поїздів щодо першого  $t_{Зад}$ , с.

## **Контрольні запитання**

1. Що є метою дипломного проекту бакалавра?
2. Які задачі має вирішити студент підчас дипломного проектування?
3. Які дані є вихідними для дипломного проектування?
4. Для обчислення параметрів якого типу рухомого складу призначено дипломний проект?

## 2. ВИРІШЕННЯ ТЯГОВОЇ ЗАДАЧІ

### 2.1. Загальні положення

Головною метою вирішення тягової задачі є:

– встановлення зв'язків між параметрами, що характеризують рух поїздів – швидкістю руху  $V$ , витратами часу при русі по ділянці або перегону  $t$  і пройденим шляхом  $S$ ;

– визначення енергетичних показників роботи електрорухомого складу – споживання струму  $i_e$  та електричної енергії  $W$ .

У процесі тягових розрахунків спрямляється профіль колії розрахункової ділянки, визначаються та розраховуються сили, що діють на поїзд в режимах тяги, вибігу та гальмування. Наприкінці визначаються криві руху і криві споживаного кожним поїздом струму. На базі знайдених величин визначається режим роботи пристроїв енергопостачання тягових підстанцій і контактної мережі.

### 2.2. Визначення кривих руху поїзда

#### 2.2.1. Рівняння руху і сили, що діють на поїзд

Криві руху поїзда будуються за допомогою вирішення рівняння руху поїзда, яке можна представити як

$$\frac{dv}{dt} = \xi \cdot f_d, \quad (2.1)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт, що представляє собою прискорення поїзда, коли на кожну тону його маси діє сила в 1 Н; для вітчизняного рухомого складу середнє значення цього коефіцієнта становить 12,24 км/год<sup>2</sup>;

$f_d$  – питома рівнодіюча сила, прикладена до поїзда, що визначається згідно з

$$f_d = f_k - f_w - f_B, \quad (2.2)$$

де  $f_k$  – питома дотична сила тяги електровоза, Н/т;



$f_w$  – загальний питомий опір руху поїзда, Н/т;

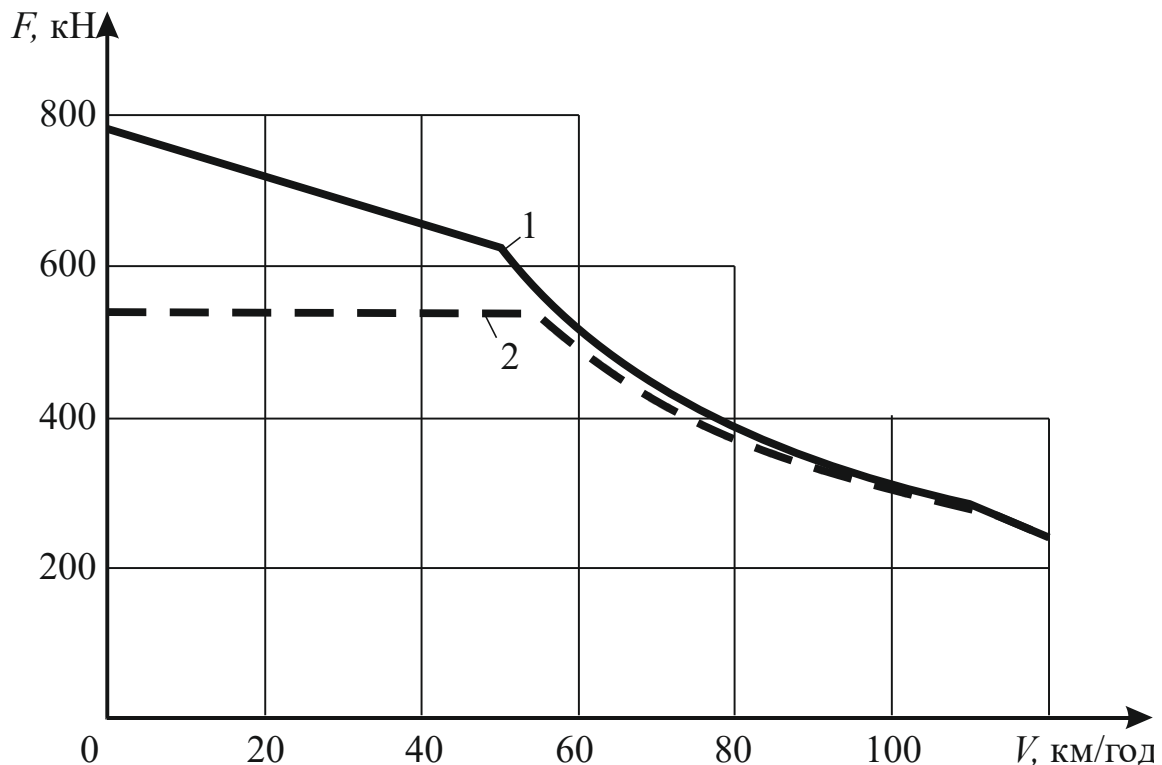
$f_B$  – питома гальмівна сила, Н/т.

Питома дотична сила тяги визначається за формулою

$$f_k = \frac{F_k}{m_c + m_l}, \quad (2.3)$$

де  $F_k$  – дотична сила тяги електровоза, Н,

$m_c, m_l$  – маса складу і локомотива відповідно, т.



1 – Характеристика тягового зусилля локомотива (максимальна характеристика) (784...621 кН [49,99 км/год] – 8624 кВт - P2 – 110 км/год),  
2 – Характеристика безперервного режиму руху (538 кН [55,08 км/год] – 8232 кВт - P2 – 115 км/год), що дійсна для напівзношеного колеса та  $U_M=3000$  В  
Рисунок 2.1 – Тягові характеристики електровоза 2ЕС10

Для конкретного електрорухомого складу  $F_k$  визначається за допомогою тягової характеристики електровоза (рис 2.1). Зазначена на рис 2.1 тягова характеристика електровоза представлена графічно. Для використання в розрахунках на ЕОМ необхідно представити її у вигляді аналітичних залежностей. Це здійснюється апроксимуванням

характеристики за допомогою методу найменших квадратів. При цьому для тягової характеристики справедливі такі залежності:

- при швидкості  $V \leq 62,5$  км/год

$$F_k = m_{\text{л}} \cdot 9,81 \cdot \psi \cdot 1000; \quad (2.4)$$

де  $F_k$  – сила тяги, Н;

$m_{\text{л}}$  – маса локомотиву, т;

9,81 – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;

$\psi$  – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою, який визначається виходячи з емпіричної формули, що для електровоза ВЛ10 має вигляд:

$$\psi = 0,28 + \frac{3}{50 + 20 \cdot V} - 0,0007 \cdot V; \quad (2.5)$$

- при швидкості руху поїзда  $V > 62,5$  км/год

$$F_k = \gamma(2115 - 39,34 \cdot V + 0,1965 \cdot V^2) \cdot 1000; \quad (2.6)$$

Питома сила опору руху визначається як

$$f_w = w_0 \pm i \cdot g + w_r, \quad (2.7)$$

де  $w_0$  – основний питомий опір руху поїзда, Н/т;  $i$  – ухил колії, ‰;

$g = 9,81$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $w_r$  – питомий опір руху поїзду в кривій, Н/т.

Питома сила опору складається з основного питомого опору  $w_0$  і додаткового  $\pm i \cdot g + w_r$ . Основний питомий опір обумовлено, головним чином, тертям, яке наявне в усіх елементах рухомого складу.

Додатковий опір утворюється з двох складових. Перша  $\pm i \cdot g$  обумовлена горизонтальною складовою сили тяжіння елементів поїзда, що виникає на ухилах. Ця складова приймається позитивною при русі поїзда на підйомі і негативною – на спуску. Друга складова додаткового опору  $w_r$

виникає від тертя гребенів коліс об рейки, яке має місце при проходженні електрорухомим складом кривих ділянок колії.

Основний питомий опір руху поїзда визначається за такими формулами:

– при тязі

$$w_o = \frac{w_o' \cdot m_l + w_{\text{coc}}'' \cdot m_c}{m_l + m_c}, \quad (2.8)$$

– при русі на вибігу

$$w_o = \frac{w_X' \cdot m_l + w_{\text{coc}}'' \cdot m_c}{m_l + m_c}, \quad (2.9)$$

де  $w_o'$  – основний питомий опір руху локомотива при тязі, Н/т;

$w_X'$  – основний питомий опір руху локомотива на вибігу, Н/т;

$w_{\text{coc}}''$  – основний питомий опір вагонів, Н/т.

Величини  $w_o'$ ;  $w_X'$ ;  $w_{\text{coc}}''$  залежать від безлічі параметрів, тому їх значення обчислюється за емпіричними формулами, наведеними в табл. 2.1. Основний питомий опір руху вагонів

$$w_{\text{coc}}'' = w_{08}'' \cdot \frac{n_8}{n_{06}} + w_{06}'' \cdot \frac{n_6}{n_{06}} + w_{04}'' \cdot \frac{n_4}{n_{06}}, \quad (2.10)$$

де  $w_{08}''$ ,  $w_{06}''$ ,  $w_{04}''$  – основний питомий опір 8 чотиривісних, 6-вісних і 4-вісних вагонів поїзда відповідно.

Таблиця 2.1 – Опір руху поїзда [2]

Тип рухомого складу та режими роботи	Основний питомий опір руху, Н/т	
	на ланковій колії	на безстиківій колії
1	2	3
Тепловози, електровози у режимі:		
тяги	$w_o' = 19,64 + 0,098 V + 0,0029 \cdot V^2$	$w_o' = 18,64 + 0,078 V + 0,0024 V^2$

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3
холостого ходу	$w'_X = 23,54 + 0,108 V + 0,0034 V^2$	$w'_X = 23,54 + 0,088 V + 0,0034 V^2$
Дизель-поїзди Д, Д1 та ДР1 у режимі:		
тяги	$w_o' = 10,79 + 0,118 V + (0,002129 + 0,004522 / m) V^2$	$w_o' = 10,79 + 0,098 V + (0,001638 + 0,004522 / m) V^2$
холостого ходу	$w'_X = w_o' + w_3$ $w_3 = (4,61 + 0,137 V) m_M / m$	$w'_X = w_o' + w_3$ $w_3 = (4,61 + 0,137 V) m_M / m$
Вантажні вагони навантажені:		
чотиривісні на підшипниках ковзання і шестивісні на підшипниках кочення	$w''_{04} = w''_{06} = 6,87 + (78,48 + 0,9 V + 0,0245 V^2) / q_0$	$w''_{04} = w''_{06} = 6,87 + (78,48 + 0,78 V + 0,02 V^2) / q_0$
чотиривісні на підшипниках кочення	$w''_{04} = 6,87 + (29,43 + 0,98 V + 0,0245 V^2) / q_0$	$w''_{04} = 6,87 + (29,43 + 0,88 V + 0,0196 V^2) / q_0$
восьмивісні на підшипниках кочення	$w''_{08} = 6,87 + (58,9 + 0,373 V + 0,0206 V^2) / q_0$	$w''_{08} = 6,87 + (58,9 + 0,255 V + 0,0167 V^2) / q_0$
Вантажні вагони порожні		
чотиривісні на підшипниках ковзання	$w''_{04} = 14,7 + 0,441 V + 0,00265 V^2$	$w''_{04} = 14,7 + 0,412 V + 0,00177 V^2$
чотиривісні та шестивісні на підшипниках кочення	$w''_{04} = w''_{06} = 9,8 + 0,432 V + 0,00235 V^2$	$w''_{04} = w''_{06} = 9,8 + 0,412 V + 0,00157 V^2$
Пасажирські вагони суцільнометалеві на підшипниках кочення	$w''_{04} = 6,87 + (78,48 + 1,766 V + 0,0294 V^2) / q_0$	$w''_{04} = 6,87 + (78,48 + 1,57 V + 0,00226 V^2) / q_0$

Примітка:  $q_0$  – маса вагона, що припадає на одну вісь;  $m$  – загальна кількість вагонів дизель-поїзду;  $m_M$  – кількість моторних вагонів.

Для знаходження значення питомого додаткового опору руху поїзда, що виникає на ухилах  $\pm i \cdot g$ , необхідно знати величину ухилу  $i$ . Ухил являє собою крутизну елементів поздовжнього профілю колії. Ця крутизна

вимірюється в тисячних частках (‰) і розраховується як частка від ділення різниці висот кінцевих точок елемента профілю колії на його довжину:

$$i = \frac{1000(H_2 - H_1)}{L}, \quad (2.11)$$

де  $H_2 - H_1$  – різниці висот кінцевих точок елемента, м;

$L$  – довжина елемента, м.

Ухил відображається у вигляді десяткової дробі (0,005) або цілим числом в тисячних, віднесеним до 1 км шляху (5 ‰).

Реальний профіль колії складається з великої кількості елементів, різних за крутизною і довжиною ухилів. Для спрощення розрахунків число цих елементів прагнуть скоротити. Це здійснюється вирішенням задачі спрямлення профілю колії. При спрямленні профілю колії кілька близьких по крутизні елементів що розташовані поруч замінюють одним, довжина якого дорівнює сумі довжин окремих елементів.

Ухил елемента, який було спрямлено, визначається за відношенням різниці висот  $H'' - H'$  крайніх точок до його довжини  $L$ , тобто:

$$i_0 = \frac{1000(H'' - H')}{L}; \quad (2.12)$$

де  $L = \sum_{k=1}^n l_k$  – сума довжин окремих елементів, що входять в ділянку, яку спрямляють.

Якщо відомі ухили  $i_k$  та довжини  $l_k$  окремих ділянок, то спрямлення здійснюється за формулою:

$$i = \frac{\sum_{k=1}^n i_k \cdot l_k}{\sum_{k=1}^n l_k}. \quad (2.13)$$

Перевірка можливості спрямлення проводиться виходячи з умови:

$$S \leq \frac{2000}{\Delta i}, \quad (2.14)$$

де  $S$  – довжина кожного елемента спрямленої ділянки, м;

$\Delta i$  – абсолютна різниця між ухилом ділянки, що спрямляється, та ухилом поточного елемента, ‰.

Складова додаткового питомого опору від проходження ЕРС (електрорухомим складом) кривих ділянок шляху  $w_T$  визначається за допомогою емпіричних формул. Якщо довжина потягу менше довжини кривої, то

$$w_T = \frac{6867}{R_k}. \quad (2.15)$$

Якщо довжина потягу більша, ніж довжина кривої, то

$$w_T = \frac{6867}{R_k} \cdot \frac{S_{крк}}{l_{п}}, \quad (2.16)$$

де  $R_k$  – радіус кривої, м,

$S_{крк}$  – довжина кривої, м,

$l_{п}$  – довжина поїзду, м.

Питома гальмівна сила, що входить в рівняння руху потягу, визначається за наступною формулою

$$b_T = \frac{40,85 \cdot (V_{кон}^2 - V_{нач}^2)}{S_{тр}} - (w_X + g \cdot i) \cdot S_{тр}, \quad (2.17)$$

де  $V_{кон}$  – швидкість поїзду наприкінці гальмування, км/год;

$V_{нач}$  – швидкість потягу на початку гальмування, км/год;

$S_{тр}$  – гальмівний шлях, м.

Залежно від довжини гальмівного шляху і мети гальмування розрізняють регульовальне і зупинне гальмування.

Регульовальне гальмування застосовується для пригальмовування поїзда з метою підтримки графіку руху. При регульовальному гальмуванні гальмівний шлях визначається довжиною ділянки, по якій рухається потяг, але не більше 300 , інакше гальмівна сила стає незначною.

Зупинне гальмування здійснюється при прибутті потягу на станцію. Згідно з нормативами руху встановлено повний гальмівний шлях при зупинному гальмуванні, його наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Довжина гальмівного шляху, м

Тип потягу	Швидкість, км/год			
	до 100	120	140	160
Пасажи́рський	1000	1000	1000	1200
Вантажний	1000	1200	–	–

### 2.2.2. Розв'язання рівняння руху

З виразів прикладених до потягу сил зрозуміло, що їх рівнодійна залежить від швидкості.

Якщо серед сил, що визначають рух системи, є хоч би одна залежна від швидкості сила, то розрахувати рух за допомогою загальних теорем класичної механіки неможливо. Це відбувається тому, що такі сили виникають в процесі руху, та впливаючи на кінематичні характеристики руху, самі нелінійно залежать від них. Розрахунок руху проводиться у формі розв'язання задачі Коші: знайти чисельну залежність  $v(t)$  за період часу від  $t_0$  до  $t_n$ , якщо відомі початкова швидкість руху  $v_0$  в початковий момент часу  $t_0$ , і рівнодійна сила, що дорівнює деякій заданій функції часу і швидкості  $f_d = \varphi(t, v)$ . Такі задачі можна вирішити тільки за методом інтегрування диференційного рівняння руху. З багатьох відомих методів

(Чаплигіна, Адамса, Рунге-Кутта, Мілана та ін.) в тягових розрахунках найчастіше використовується метод Ейлера. Сутність цього методу полягає в апроксимації інтегральної кривої  $v(t)$  послідовно зв'язаними дотичними.

Запишемо рівняння руху (2.1) у вигляді задачі Коші [3]:

$$\frac{1}{\zeta} \frac{dv}{dt} = \varphi(t, v), \quad (2.18)$$

за початкових умов  $v(t_0) = v_0$ .

Період часу  $[t_0, t_n]$  поділимо на  $n$  рівних частин та позначимо крок обчислення (крок інтегрування)

$$h = \frac{t_n - t_0}{n} = \Delta t = t_1 - t_0 = t_2 - t_1 = \dots = t_n - t_{n-1}.$$

Прийнявши праву частину рівняння (2.18) постійною в межах кожного інтервалу (кроку інтегрування), похідну в кожній точці кривої  $v(t)$  замінимо відношенням кінцевих різниць

$$\frac{1}{\zeta} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \varphi(t, v). \quad (2.19)$$

Для кожного кроку обчислень

$$\frac{1}{\zeta} \Delta v_0 = \frac{1}{\zeta} (v_1 - v_0) = \varphi_0(t_0, v_0)h \quad \text{при} \quad v|_{t=t_0} = v_0,$$

$$\frac{1}{\zeta} \Delta v_1 = \frac{1}{\zeta} (v_2 - v_1) = \varphi_1(t_1, v_1)h \quad \text{при} \quad v|_{t=t_1} = v_1,$$

.....

$$\frac{1}{\zeta} \Delta v_{n-1} = \frac{1}{\zeta} (v_n - v_{n-1}) = \varphi_{n-1}(t_{n-1}, v_{n-1})h \quad \text{при} \quad v|_{t=t_{n-1}} = v_{n-1}.$$

Така заміна рівносильна заміні дотичною шуканої функції на кроці  $[t_i, t_i+h]$ , наприклад, для інтервалу  $[t_0, t_1]$  дотична  $ab$  утворює з віссю часу кут  $\alpha$ , тангенс якого в свою чергу дорівнює  $tg \alpha = (v_1 - v_0)/(t_1 - t_0)$  (рис.2.2).



Для наступного кроку  $(t_1-t_2)$  дотична проводиться до кривої  $v(t)$ , але не від точки  $b$ , а від точки  $b'$ , таким чином, маємо дотичну  $b'c'$ . Ряд взаємопов'язаних дотичних утворює «ламану Ейлера»

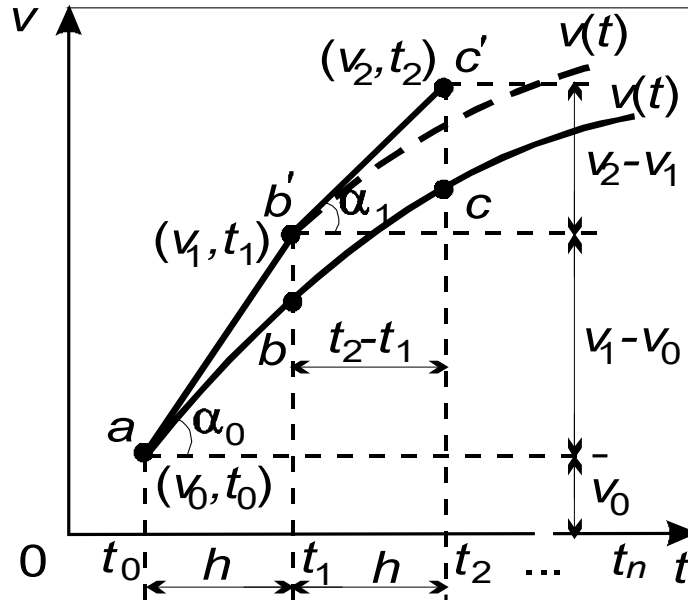


Рисунок 2.2 – Побудова ламаної Ейлера

Для обчислення фазових координат поїзда перепишемо кінцеві різниці на відрізках, дозволені за швидкістю в кінцях інтервалів

$$\begin{aligned}
 v_1 &= v_0 + \zeta h \varphi_0(t_0, v_0), \\
 v_2 &= v_1 + \zeta h \varphi_1(t_1, v_1), \\
 &\dots\dots\dots \\
 v_n &= v_{n-1} + \zeta h \varphi_{n-1}(t_{n-1}, v_{n-1}).
 \end{aligned}
 \tag{2.20}$$

Таким чином, за заданими  $v_0$ ,  $t_0$ ,  $h$  і обчисленому значенню рівнодійної сили  $\varphi_0(t_0, v_0)$  на першому кроці визначається значення швидкості  $v_1$ . Потім згідно з отриманими на попередньому кроці  $v_1$ ,  $t_1$ ,  $h$  і  $\varphi_1(t_1, v_1)$  визначається  $v_2$  і так далі. Таким чином, за виразами (2.20) визначається швидкість на усьому інтервалі часу  $[t_0, t_n]$ .

При інтегруванні за швидкістю рівняння

$$ds = v dt,$$

знайдемо пройдений поїздом шлях

$$\begin{aligned} s_1 &= s_0 + (v)_{01}(\Delta t)_{01} \\ s_2 &= s_1 + (v)_{12}(\Delta t)_{12} \\ &\dots\dots\dots \\ s_n &= s_{n-1} + (v)_{n-1,n}(\Delta t)_{n-1,n}. \end{aligned} \tag{2.21}$$

Розрахунок часу робиться за формулою

$$\Delta t = \frac{2\Delta s}{2v_0 + \Delta v}. \tag{2.22}$$

Розрахунок кривих руху здійснюється за допомогою програми Potyag.

### 2.3. Визначення струму та споживаної ЕРС енергії

Крива струму ЕРС  $i_3(t)$  визначається за струмовими характеристиками електровозів  $i_3(v)$  з використанням тягової характеристики  $F_k(v)$ , яку наведено на рис. 2.1.

Для вибору з усього сімейства можливих кривих однієї, на якій в поточний момент часу працюють ТЕД (тягові електродвигуни) електровоза, використовуються тягові характеристики цього електровоза. Ці характеристики поділені на групи і окремі криві таким самим чином і за такими ж ознаками, як і струмові. Маючи в результаті раніше проведених тягових розрахунків миттєві значення сили тяги  $F_k$  і швидкості  $v$ , з безлічі тягових характеристик вибирається крива, на якій розташована точка перетину цих значень. Таким чином визначається схема з'єднання та режим роботи ТЕД по послабленню поля. Виходячи з конкретної струмової характеристики за відомим значенням швидкості руху  $v$  для визначених вище схеми з'єднання ТЭД і коефіцієнта послаблення його поля, розраховується конкретне значення  $i_3$  в режимі тяги. Після

знаходження таким чином струмів для усіх моментів часу руху ЕРС будується залежність  $i_3(v)$ .

При русі ЕРС в інтервалах часу, що відповідають режимам вибігу та гальмування, значення споживаних ЕРС струмів  $i_3$  прирівнюються до нуля.

Якщо вважати напругу контактної мережі незмінною, спожита ЕРС енергія визначається як

$$W = 3,6 \cdot U_c \int_0^{t_k} i_3 dt,$$

де  $U_c$  – напруга на контактному дроті, В,

$t_k$  – час руху ЕРС по перегону, с,

$W$  – витрачена електроенергія, кВт·год.

Розрахунок струму і витраченої енергії для вирішення конкретного завдання здійснюється за допомогою програми Potyag. Текст основного модулю програми наведено у Додатку А.

### Контрольні запитання

1. З чого складається рівняння руху поїзда?
2. Які є види опору руху поїзда?
3. Навіщо виконується спрямлення ділянки колії?
4. Які бувають види гальмування поїзда?
5. Як визначається енергія, що її споживає електрорухомий склад?

### 3. ОПИС ПРОГРАМНО–АЛГОРИТМІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Блок-схему програмно-алгоритмічного комплексу (ПАК) наведено у наступному розділі. ПАК складається з чотирьох програм, написаних на мові програмування Delphi [1].

#### **PotyagVV.pas, PotyagA.pas, PodTyag.pas, PodNap.pas.**

**PotyagVV** – програма для введення вихідних даних в ПАК і запису цих даних на жорсткий диск у файли даних. Крім того, програма визначає необхідну потужність електровоза для руху по заданій ділянці і за необхідністю проводить спрямлення профілю колії.

**PotyagA** – програма для розрахунку кривих руху поїзда по перегону та визначенню потрібного миттєвого значення струму і потужності електровоза для забезпечення необхідних параметрів руху. Також програма проводить розрахунок режимів роботи асинхронних тягових двигунів електровоза.

**PodTyag** - програма для формування графіка руху поїздів і вирахування струмів електровозів, що здійснюють рух по перегонах, в загальну тимчасову шкалу з єдиною системою відліку.

**PodNap** – програма для розрахунку розподілу струмів електровозів між підстанціями, розрахунку режимів роботи тягової мережі і тягових підстанцій (втрата напруги на струмоприймачі кожного електровоза, втрати потужності в контактній мережі, втрати потужності в рейкової мережі, втрати потужності в тяговій мережі, струм фідерів підстанції, струм підстанції, потужність підстанції).

Крім зазначених вище програм ПАК включає ще 21 файл даних, які обов'язково повинні бути присутніми на жорсткому диску: **Profil.dat, SprProfA.dat, DanPoezd.dat, Electra.dat, ElDvig.dat, RezPoezA.dat, RezPoezB.dat, ResultA.dat, ResultB.dat, LokoDan.dat, TokPoez1.dat, TokPoez2.dat, TokPoez3.dat, TokPoez4.dat, TokPoez5.dat, TokPoez6.dat,**

## **TokPoez7.dat, RezPodA.dat, DelUP.dat, RezDelP.dat, ContInt.dat.**

Програма PotyagVV використовує такі файли даних:

**Profil.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FV**, призначений для зберігання таких даних профілю колії (черговість перелічуваних даних відповідає черговості їх запису на диск):

$N$  – кількість ділянок профілю;

$L[i]$  – довжина  $i$ -ї ділянки, м;

$Rad[i]$  – радіус кривої  $i$ -ї ділянки, м; (за відсутності кривої на ділянці радіус кривої приймається рівним нулю);

$DLRds[i]$  – довжина кривої  $i$ -ї ділянки, м; (при відсутності кривої на ділянці довжина кривої приймається рівною нулю);

$Ukl[i]$  – ухил  $i$ -ї ділянки, ‰.

**SprProfA.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FO**, призначений для зберігання даних спрямленого профілю колії при русі від підстанції А і містить наступні дані:

$RezL[i]$  – довжина  $i$ -ї спрямленої ділянки колії, м;

$RezUkl[i]$  – ухил  $i$ -ї спрямленої ділянки колії, ‰ ;

$PrUklRez[i]$  – приведений ухил  $i$ -ї спрямленої ділянки колії від наявності на ньому кривої, ‰.

**DanPoezd.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FC**, призначений для зберігання даних про склад поїзда та граничні параметри його руху і містить наступні дані:

$ObKolVag$  – загальна кількість вагонів у потязі, шт.;

$Vag8$  – кількість 8-вісних вагонів у потязі, шт.;

$Vag6$  – кількість 6-вісних вагонів у потязі, шт.;

$Vag4$  – кількість 4-вісних вагонів у потязі, шт.;

$MasSos$  – маса потягу, т;

$SkorZad$  – задана швидкість руху потягу на перегоні, км/ч;

*UskZad* – допустиме повздовжнє прискорення поїзда при русі на перегоні, м/с.

**Electra.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FE**, призначений для зберігання даних про параметри електровоза і містить наступні дані:

*mu* – передаточне відношення тягового редуктора;

*Kdv* – кількість тягових електродвигунів, шт.;

*DLok* – довжина електровоза, м;

*LokMas* – маса електровоза, т.

**EIDvig.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FA**, призначений для зберігання даних АТД (асинхронного тягового двигуна) і містить наступні дані:

*Unl* – номінальна лінійна напруга живлення, В;

*Inf* – номінальний струм фази, А;

*Pnd* – потужність АТД тривалого режиму, кВт;

*fn* – номінальна частота струму статора, Гц;

*p* – число пар полюсів;

*Ns* – число пазів статора;

*Dk* – діаметр колеса електровоза, м;

*sn* – номінальне ковзання ротора;

*kpd* – к.к.д. АТД;

*cofi* – коефіцієнт потужності;

*lsras* – розрахункова довжина статора, м;

*Dsr* – діаметр розточки статора, м;

*bzub* – ширина коронки зубця статора, м;

*Rs* – активний опір фази статора, Ом;

*Rrp* – активний опір фази ротора, приведений до обмотки статора, Ом;

$X_{rp}$  – реактивний опір фази ротора, приведений до обмотки статора, Ом;

$m_l$  – кількість фаз АТД;

$\delta$  – робочий повітряний зазор, м;

$W_{vf}$  – число витків фази статора двигуна;

$X_s$  – реактивний опір фази статора, Ом;

$X_0$  – реактивний опір контуру намагнічування, Ом;

$f_{2n}$  – номінальна частота струму ротора, Гц;

$M_n$  – номінальний момент на валу АТД, кН·м.

**RezPoezA.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FD**, призначений для зберігання поточних даних часу руху, споживаного електровозом струму та пройденого поїздом шляху при його русі від підстанції А і містить наступні дані:

$Vrem$  – поточний час руху поїзда, с;

$I_{el}$  – миттєве значення споживаного електровозом струму, А;

$Put$  – шлях, пройдений поїздом на даний час, м.

**RezultA.dat** – фізичний файл зв'язаний програмою з логічним файлом **FR**, призначений для зберігання розрахованих програмою даних руху поїзда, розрахункових параметрів що визначають режими роботи АТД, споживаних електровозом при русі від підстанції А струму і потужності, і містить наступні дані:

$Vrem$  – поточний час руху поїзда, с;

$f_1$  – поточна частота струму статора, Гц;

$Skor$  – миттєва швидкість руху поїзда, км/год;

$Put$  – пройдений поїздом на даний момент часу шлях, м;

$UklOb$  – поточна висота профілю колії щодо висоти підстанції А, м;

$f_2$  – поточна частота струму ротора АТД, Гц;

$cofi$  – поточний коефіцієнт потужності АТД;

*Potok* – потік в магнітній системі АТД, Вб;  
*Bd* – індукція в робочому зазорі АТД, Тс;  
*Bz* – індукція в зубці статора, Тс;  
*kmu* – коефіцієнт насичення сталі;  
*Imu* – намагнічуючий струм АТД, А;  
*Irp* – струм ротора, приведений до струму обмотки статора, А;  
*Idv* – струм фази двигуна, А;  
*Iel* – миттєве значення струму споживаного електровозом, А;  
*Md* – момент тягового двигуна, кН·м;  
*UdTyag* – питома тяга електровоза, Н/т;  
*UdSopPo* – питомий опір руху поїзда, Н/т;  
*f2k* – критична частота струму ротора, Гц;  
*n2* – оберти ротора АТД, об/хв;  
*TyagaPr* – гранична по зчепленню питома тяга електровоза, Н/т;  
*RasEner* – витрата енергії на рух, кВт/год.

**RezPoezB.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FK**, призначений для зберігання поточних даних часу руху, струму, споживаного електровозом, і пройденого поїздом шляху при його русі від підстанції Б і містить наступні дані:

*Vrem* – поточний час руху поїзда, с;  
*Iel* – миттєве значення споживаного електровозом струму, А;  
*Put* – шлях, пройдений поїздом на даний момент часу, м.

**RezultB.dat** – фізичний файл зв'язаний програмою з логічним файлом **FT**, призначений для зберігання розрахованих програмою даних руху поїзда, розрахункових параметрів що визначають режими роботи АТД, споживаних електровозом при русі від підстанції В струму і потужності, і містить наступні дані:

*Vrem* – поточний час руху поїзда, с;



$f_1$  – поточна частота струму статора, Гц;  
 $Skor$  – миттєва швидкість руху поїзда, км/г;  
 $Put$  – шлях пройдений поїздом на даний момент часу, м;  
 $UklOb$  – поточна висота профілю колії щодо висоти підстанції А, м;  
 $f_2$  – поточна частота струму ротора, Гц;  
 $cofi$  – поточний коефіцієнт потужності АТД;  
 $Potok$  – потік в магнітній системі АТД, Вб;  
 $Bd$  – індукція в робочому зазорі АТД, Тс;  
 $Bz$  – індукція в зубці статора, Тс;  
 $kmu$  – коефіцієнт насичення сталі;  
 $Imu$  – намагнічуючий струм АТД, А;  
 $Irp$  – струм ротора, приведений до струму обмотки статора, А;  
 $Idv$  – струм фази двигуна, А;  
 $Iel$  – миттєве значення струму споживаного електровозом, А;  
 $Md$  – момент тягового двигуна, кН·м;  
 $UdTyag$  – питома тяга електровоза, Н/т;  
 $UdSopPo$  – питомий опір руху поїзда, Н/т;  
 $f2k$  – критична частота струму ротора, Гц;  
 $n2$  – оберти ротора АТД, об/хв;  
 $TyagaPr$  – гранична по зчепленню питома тяга електровоза, Н/т;  
 $RasEner$  – витрата енергії на рух, кВт/г.

Програма `PodTyag` використовує такі файли даних:

**RezPoezA.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FRePA**, призначений для зберігання поточних даних часу руху, споживаного електровозом струму та пройденого поїздом шляху при його русі від підстанції А. Використовується програмою для складання графіка руху і містить наступні дані:

$Vrem$  – поточний час руху поїзда, с;

*TokElek* – миттєве значення споживаного електровозом струму, А;

*Put* – пройдений поїздом на даний момент часу шлях, м.

**RezPoezB.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FRePB**, призначений для зберігання даних часу руху, споживаного електровозом струму та пройденого поїздом шляху при його русі від підстанції Б. Використовується програмою для складання графіка руху, і містить наступні дані:

*Vrem* – поточний час руху поїзда, с;

*TokElek* – миттєве значення споживаного електровозом струму, А;

*Put* – пройдений поїздом на даний момент часу шлях, м.

**TokPoez1.dat, TokPoez2.dat, TokPoez3.dat, TokPoez4.dat** – фізичні файли, які зв'язано програмою з логічними файлами **FtokP1, FtokP2, FtokP3, FtokP4** відповідно, призначені для зберігання параметрів руху поїздів від підстанції А, і містять такі дані:

*VremA* – поточний час руху поїзда, с;

*TokPA* – миттєве значення споживаного відповідним електровозом струму, А;

*RastPA* – поточне значення відстані від підстанції А до відповідного поїзда, м.

**TokPoez5.dat, TokPoez6.dat, TokPoez7.dat** – фізичні файли, які зв'язано програмою з логічними файлами **FTokP5, FTokP6, FTokP7** відповідно, призначені для зберігання параметрів руху поїздів від підстанції Б, і містять такі дані:

*VremB* – поточний час руху поїзда, с;

*TokPB* – миттєве значення споживаного відповідним електровозом струму, А;

*RastPB* – поточне значення відстані від підстанції А до відповідного поїзда при його русі від підстанції Б, м.

Програма PodNap використовує такі файли даних:

**TokPoez1.dat, TokPoez2.dat, TokPoez3.dat, TokPoez4.dat, TokPoez5.dat, TokPoez6.dat, TokPoez7.dat** – фізичні файли, які зв'язано програмою з логічними файлами **FTokP1, FTokP2, FTokP3, FTokP4, FTokP5, FTokP6, FTokP7** відповідно. Призначені для зберігання параметрів рух поїздів по перегону, використовуються програмою для розрахунку режимів роботи тягової мережі і тягових підстанцій та містять наступні дані:

*Vrem* – поточний час руху поїзда, с;

*TokP* – миттєве значення споживаного відповідним електровозом струму, А;

*RastP* – поточне значення відстані від підстанції А до відповідного поїзда, м.

**RezPodA.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FTokA**, призначений для зберігання струмів фідерів і струмів підстанцій і містить такі дані:

*Vrem* – поточний час, с;

*TokA1* – струм фідера 1 підстанції А, А;

*TokA2* – струм фідера 2 підстанції А, А;

*TokA* – струм підстанції А, А;

*TokB1* – струм фідера 1 підстанції Б, А;

*TokB2* – струм фідера 2 підстанції Б, А;

*TokB* – струм підстанції Б, А;

*TokC1C2* – струм поста секціонування, А.

**DelUP.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FDeIU**, призначений для зберігання втрат напруги на струмоприймачах відповідних електровозів і містить дані:

*Vrem* – поточний час, с;

*DelU11, DelU12, DelU13, DelU14, DelU25, DelU26, DelU27* – миттєве значення втрат напруги на струмоприймачах відповідних електровозів, В.

**RezDelP.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FDelP**, призначений для зберігання миттєвих значень втрат потужності тягової мережі та миттєвої потужності тягових підстанцій, містить наступні дані:

*Vrem* – поточний час, с;

*DelPS* – значення миттєвих втрат потужності в тяговій мережі, кВА;

*PA* – значення миттєвої потужності тягової підстанції А, кВА;

*PB* – значення миттєвої потужності тягової підстанції Б, кВА.

**ContIsp.dat** – фізичний файл, який зв'язано програмою з логічним файлом **FCon**, призначений для зберігання пар даних, що застосовуються для контролю вірності проведених обчислень і містить такі дані:

*Vrem* – поточний час, с;

*TokC1C2* – струм поста секціонування, що протікає від 1-ї колії до 2-ї, А;

*TokC2C1* – струм поста секціонування, що протікає від 2-ї колії до 1-ї, А;

*Tok* – сумарний струм підстанцій, А;

*TokP* – сумарний струм електровозів, що здійснюють тягу поїздів в поточний момент часу, А.

### **Контрольні запитання**

1. З яких програм складено програмно-алгоритмічний комплекс?
2. Яке є призначення програм комплексу?
3. Які файли даних використовує програмно-алгоритмічний комплекс?
4. Які наявні поєднання фізичних та логічних файлів комплексу?

## 4. ВИРІШЕННЯ ТЯГОВОЇ ЗАДАЧІ

### 4.1. Опис програми PotyagVV

Програму **PotyagVV** призначено для створення бази вихідних даних елементів профілю колії, параметрів електровоза, потяга та тягових електродвигунів і запису цих даних в вихідні файли на жорсткий диск з метою їх подальшого використання програмою **PotyagA**. Крім того, програма проводить спрямлення профілю колії; визначає необхідну потужність тягових електродвигунів електропоїздів, дизель-поїздів, пасажирських і вантажних електровозів і тепловозів для руху з заданим потягом по шляху з відомим профілем.

Умовно роботу програми можна представити у вигляді етапів:

- введення вихідних даних;
- проведення випрямлення профілю колії;
- визначення потрібної потужності для руху поїзда по керівному підйому з розрахунковою швидкістю.

При першому запуску програми вихідні дані, що вводяться з клавіатури оператором, автоматично записуються на диск у файл **Profil.dat** (дані профілю шляху), **DanPoezd.dat** (дані потягу та допустима швидкість руху і прискорення), **Electra.dat** (дані електровоза або тепловоза) і **EIDvig.dat** (дані асинхронного тягового двигуна). При подальших запусках програми вихідні дані зчитуються з диска і виводяться на екран монітора, оператор при цьому повинен або підтвердити їх (натиснувши клавішу "Y"), або замінити значення новим значенням (натиснувши клавішу "N" і потім набравши нове значення).

У процесі роботи програма здійснює моніторинг введених вихідних даних, тому у разі помилкового введення величини за встановленими межами програма зажадає повторного введення.

Після введення всіх вихідних даних програма запропонує оператору

вибір: або переглянути всі введені дані для перевірки і, при необхідності, корекції, або продовжити роботу програми далі.

При подальших запусках програми передбачена можливість відмови від введення вихідних даних, тоді будуть використані записані на диск при попередніх запусках дані (для цього потрібно натиснути клавішу "Q" в будь-якому місці процесу введення).

При проведенні випрямлення використовується метод, викладений у розділі 2.1.

Сутність цього методу полягає в тому, що береться ділянка профілю, до неї приєднується наступна і проводиться відрізок між початковою точкою першої і кінцевою точкою наступної ділянки, потім перевіряється умова випрямлення. Якщо умова виконується, вважається, що спрямлення пройшло успішно і до спрямлених ділянок додається наступна ділянка і так далі до тих пір, поки умова не буде порушена. Спрямленими ділянками вважаються ті ділянки, для яких умова випрямлення виконується. Першу та останню ділянку перегону згідно тяговим розрахунками не спрямляють.

Спрямлений профіль записується на диск і використовується для розрахунку кривих руху поїзда як у прямому (SprProfA.dat), так і в зворотному (SprProfB.dat) напрямках шляхом заміни ухилів підйомами і навпаки.

Алгоритми розрахунку діючих на поїзд сил, кривих руху поїзда та енергетичних показників руху поїзда повністю збігаються з описом відповідних методик, що наведено у розділах 2.2.1., 2.2.2., 2.3.

Програма зупинкового гальмування поїзда включається, коли відстань до кінцевої станції складає не більше 1000 м. Методика розрахунку зупинкового гальмування наведена в розділі 2.2.1 (формула 2.17).

Програма автоведення поїзда використовує результати розрахунку

діючих на поїзд сил та розрахунку кривих руху і енергетичних показників, здійснює безперервний контроль цих результатів і керує рухом поїзда. У процесі цього вона нарощує силу тяги електровоза при розгоні з максимальною швидкістю 5 позицій контролера машиніста в сек. При прискоренні поїзда, що дорівнює або перевищує задане, нарощування сили тяги припиняється. При досягненні поїздом заданої швидкості руху по перегону нарощування сили тяги припиняється, подальший рух поїзда здійснюється за інерцією в режимі вибігу. Якщо при цьому швидкість поїзда продовжує зростати, то при швидкості, що перевищує задану на 2 км/год, активується режим пригальмовування до зниження швидкості поїзда нижче заданої на 0,5 км/год. Гальмівна сила визначається відстанню між поточним місцезнаходженням поїзда і кінцем ділянки шляху, на якій здійснюється гальмування. При цьому величина уповільнення не повинна перевищувати задану. Крім вищезазначених операцій програма автоведення поїзда забезпечує: перемикання тягових двигунів електровоза на послідовне, паралельно-послідовне і паралельне з'єднання при досягненні поїздом відповідних швидкостей руху згідно тяговій характеристиці електровоза; перемикання режимів ослаблення поля тягових двигунів з метою підтримки тяги, необхідної для забезпечення заданої швидкості руху поїзда по перегону; активує при відстані від поїзда до кінцевої станції менше 1000 м програму зупинкового гальмування поїзда.

Для візуального контролю ходу виконання програми поточні розрахункові дані програми виводяться на екран монітора та паралельно записуються на диск у файли RezultA.dat (дані руху поїзда від підстанції А) і RezultB.dat (дані руху поїзда від підстанції Б).

### **Склад програми PotyagVV та опис її структури.**

Програма **Potyag** містить 8 процедур (табл. 4.1).

Процедура Zvuck1 призначена для звукової індикації помилки виконання програми. Вона ініціює подачу тривалого звуку високої частоти.

Процедура Zvuck2 призначена для звукової індикації успішного завершення роботи фрагмента програми та ініціює подачу короткого сигналу низької частоти.

Процедура Okno1 виводить на екран монітора інформаційне вікно, в якому програма відображає результати розрахунку і запити до користувача. Розміри вікна 2, 2, 78, 17; колір фону блакитний, колір символів жовтий.

Процедура Okno2 виводить на екран монітора діалогове вікно, в якому програма відображає підказки користувачу та коментарі про хід виконання фрагментів програми, розміри вікна 2, 19, 78, 24; колір фону сірий, колір символів синій.

Процедура Okna дозволяє оновити виведену на екран монітора інформацію.

Процедура Vvod відображає на екрані монітора повідомлення про помилку, що виникла при введенні даних з клавіатури.

Процедура STR1 забезпечує збереження або оновлення значень цілочислових типів даних у процесі їх введення оператором.

Процедура STR2 забезпечує збереження або оновлення значень дійсних типів даних у процесі їх введення оператором.

Блок-схема програми PotyagVV наведена на рис.4.1



Таблиця 4.1 – Структура програми

Елементи алгоритму	Виконувані дії
1	2
1 – 16	Створення вікон для введення даних, відкриття файлу даних профілю колії Profil.dat для читання. Читання довжин, ухилів ділянок, радіусів і довжин кривих ділянок. Закриття файлу.
17 – 28	Оновлення вихідних даних профілю колії: довжин ділянок перегону; радіусів кривих, розташованих на ділянках перегону; довжин кривих, розташованих на ділянках; ухилів ділянок перегону; запис вихідних даних на диск і закриття логічного файлу даних <b>FV</b> .
29 – 40	Відкриття файлу даних поїзда DanPoezd.dat для читання. Читання даних поїзда і даних руху. Закриття файлу.
41 – 47	Оновлення вихідних даних поїзда.
48 – 56	Відкриття файлу даних електровоза Electra.dat для читання. Читання даних електровоза. Закриття файлу.
57 – 63	Оновлення вихідних даних електровоза.
64 – 88	Відкриття файлу даних тягового електродвигуна ElDvig.dat для читання. Читання даних АТД. Закриття файлу.
89 – 95	Оновлення вихідних даних АТД.

1	2
96 – 122	Спрямлення профілю колії; алгоритм спрямлення наведений у розділі 2.2.1; скасування спрямлення останньої ділянки; запис результатів спрямлення профілю колії на диск у файл SprProfA.dat; закриття файлу; визначення напрямку руху поїзда (у прямому чи зворотному напрямку); при русі в зворотному напрямку здійснюється інверсія профілю - перша ділянка ставиться останньою, друга – передостанньою і т.д.; знаки перед ухилами змінюються на протилежний.
123	Виведення результатів спрямлення на екран монітора.
124 – 126	Створення файлу спрямленого профілю колії.
127	Закриття файлу введення вихідних даних.

#### 4.2. Опис програми PotyagA

Програма **PotyagA** проводить розрахунок величин, що характеризують рух поїзда (час руху, миттєва швидкість поїзда, пройдений шлях на поточний момент часу), електромеханічних величин, що характеризують роботу асинхронного тягового приводу (магнітний потік і індукція в різних ділянках магнітопроводу, струм намагнічування і наведений струм ротора, струм двигуна, частота струму статора і ротора, обороти ротора, момент на валу двигуна), енергетичних величин поїзда (миттєві значення споживаних електровозом струму та електроенергії) в залежності від заданих елементів профілю колії (довжина ділянки, ухил, радіус і довжина кривої) і заданих параметрів поїзда (кількості та типу

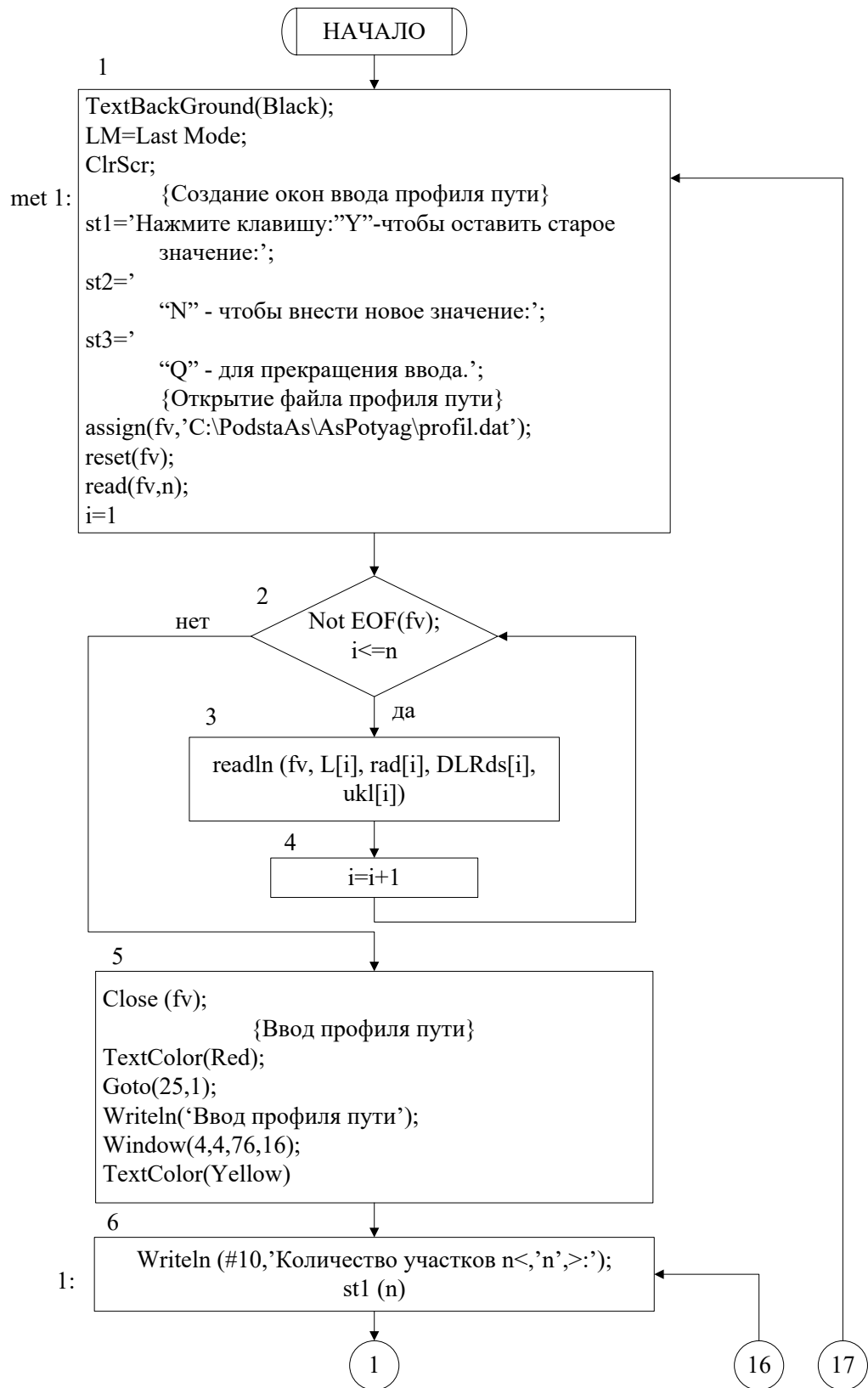


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV

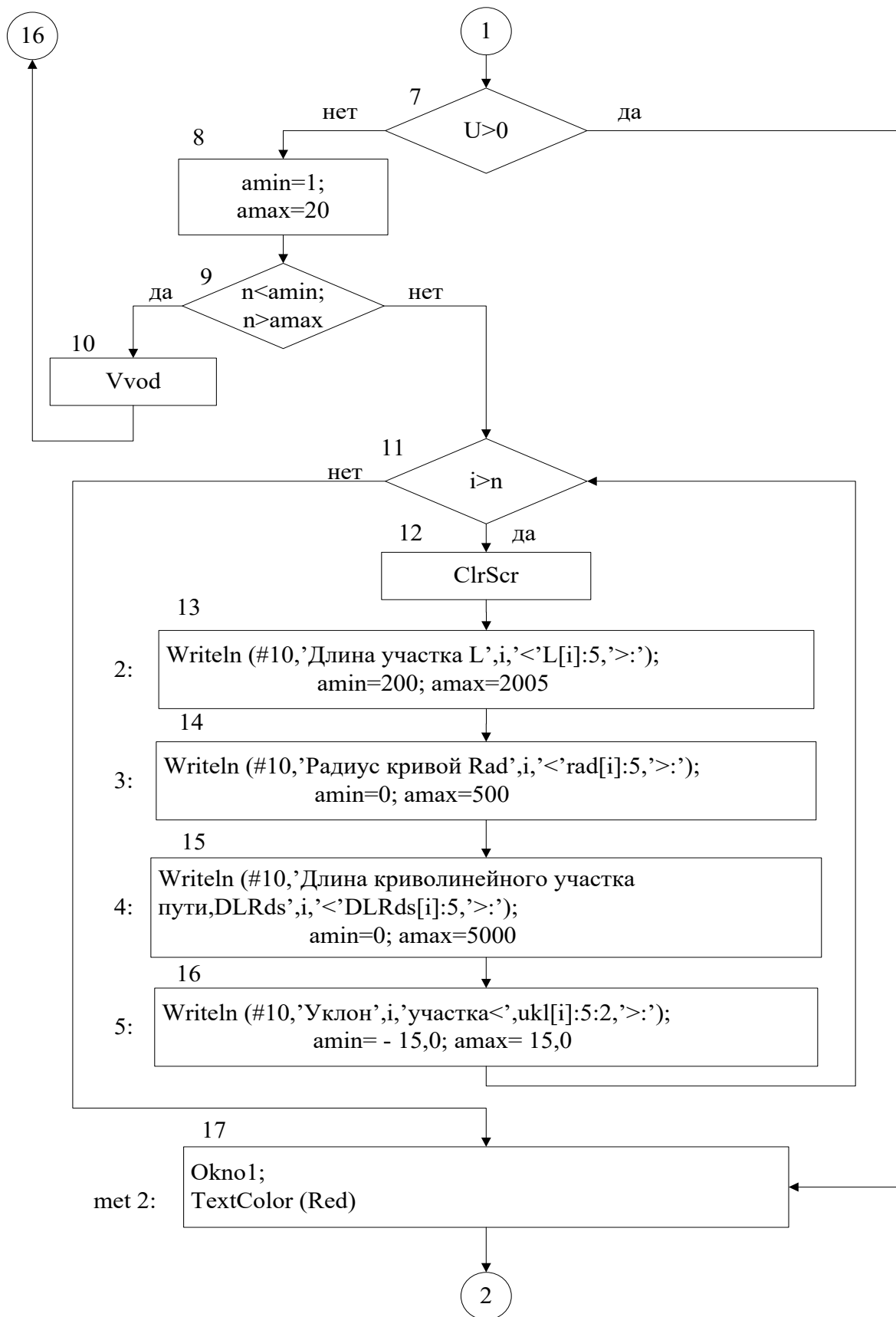


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV (продовження)

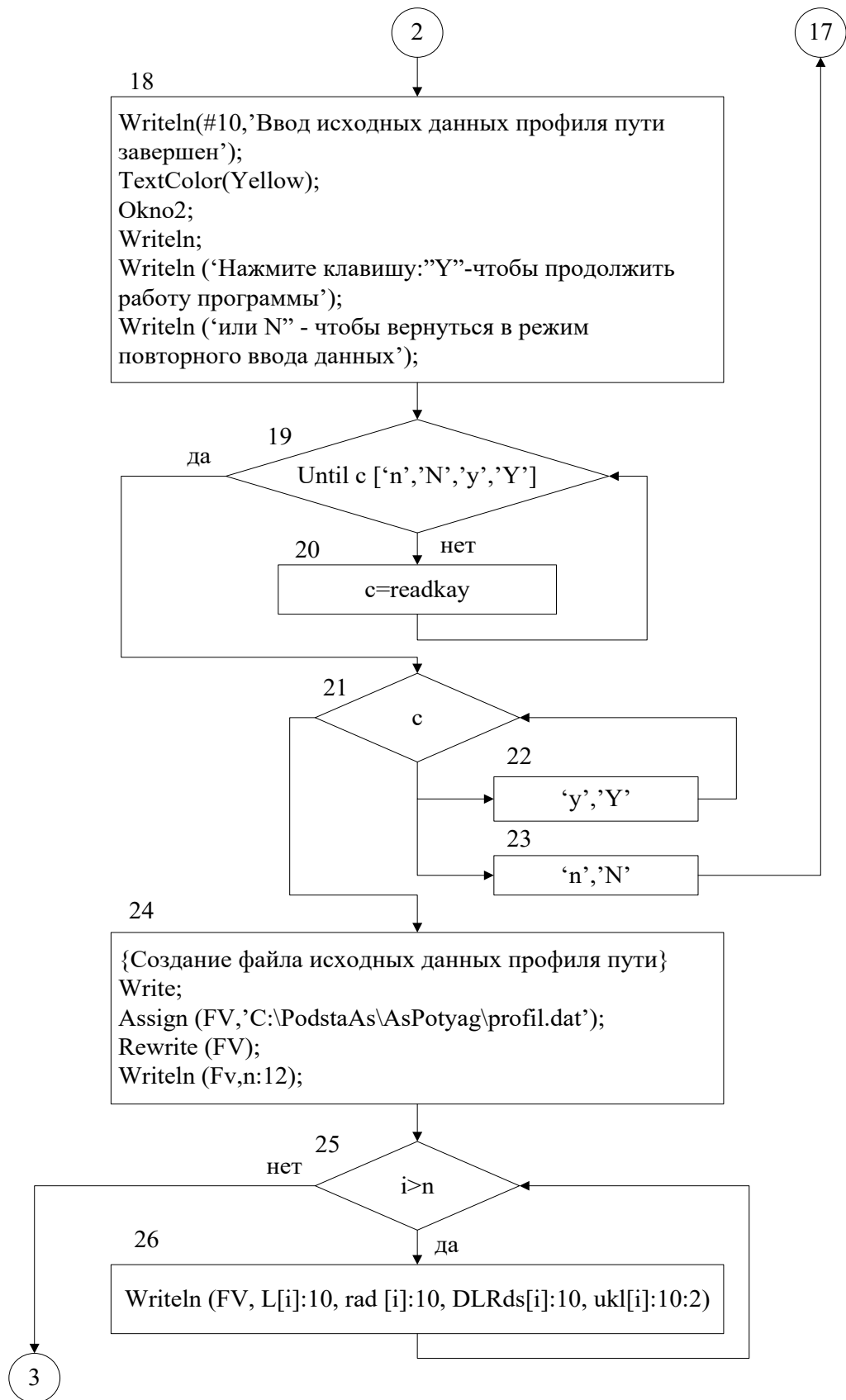


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV (продовжения)

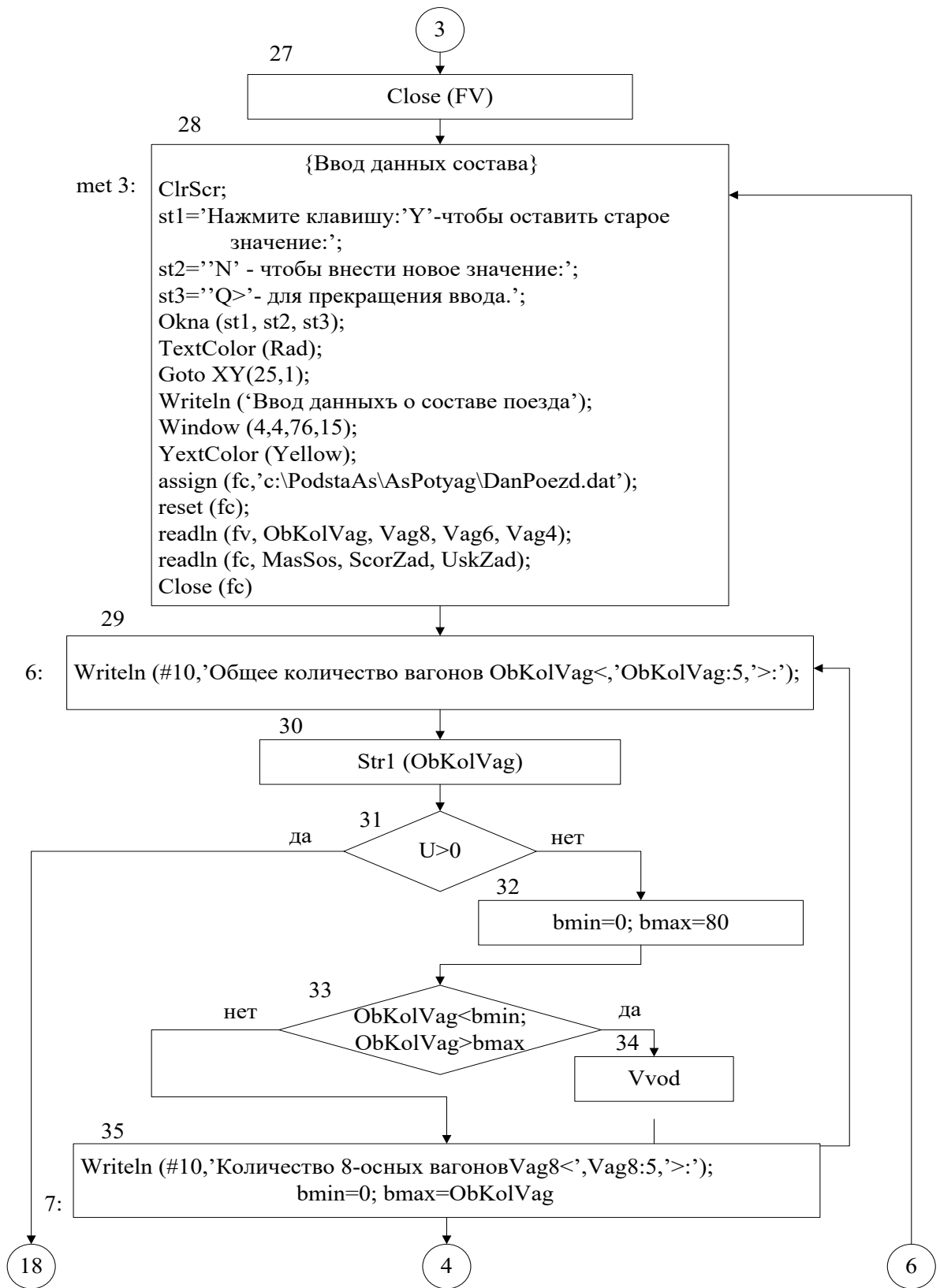


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV (продовжения)

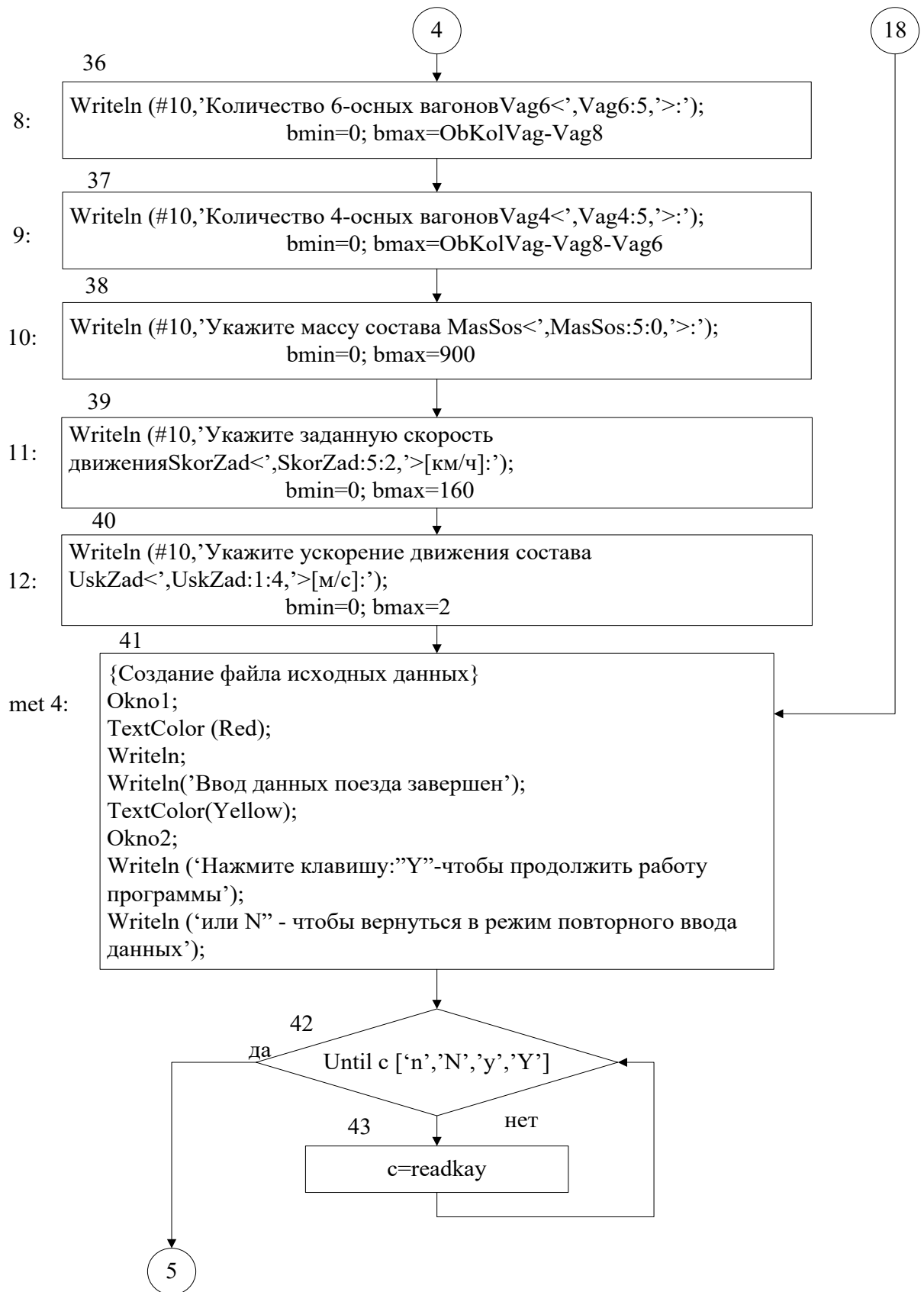


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV (продовження)

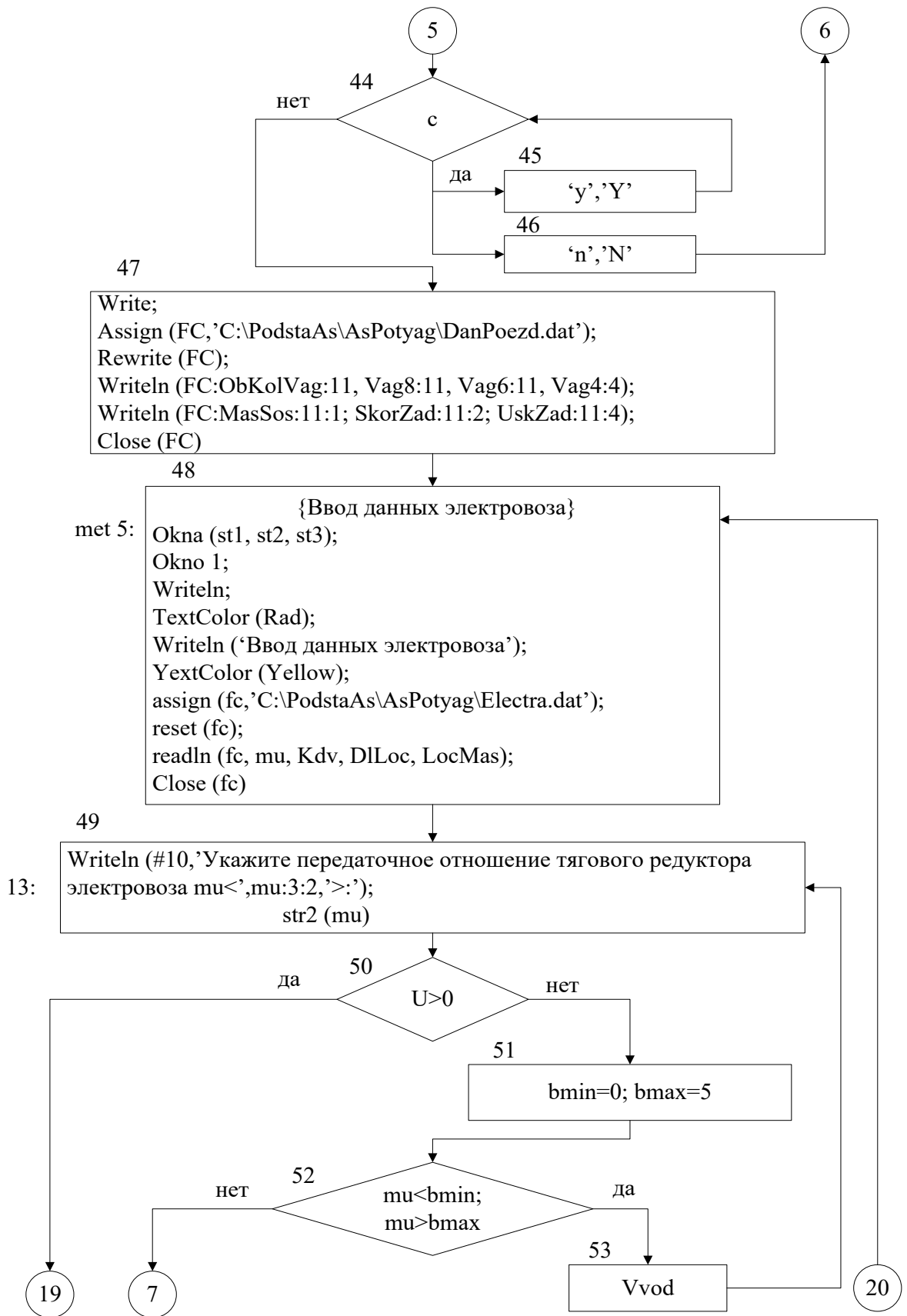


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV (продовження)



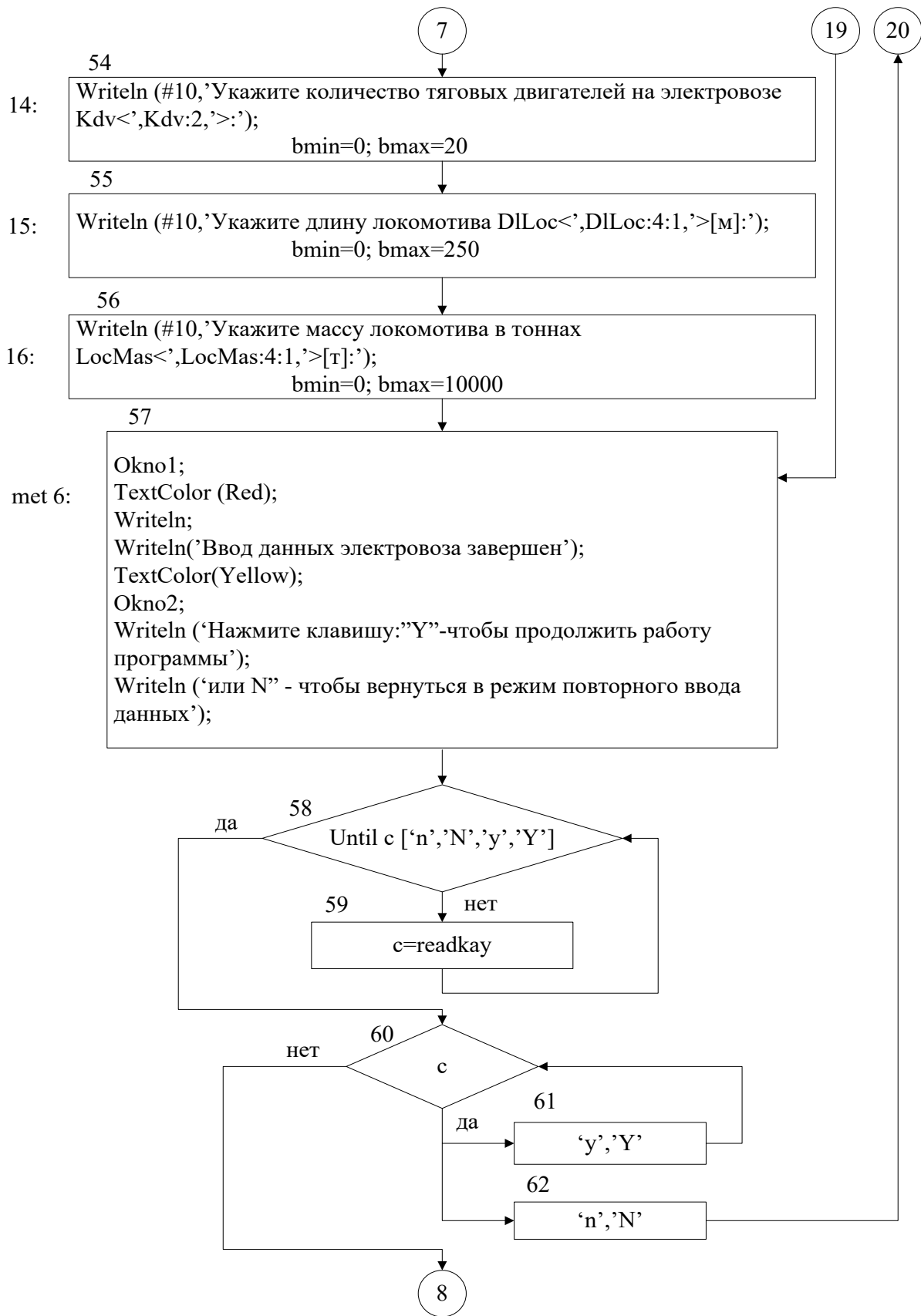


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV (продовження)

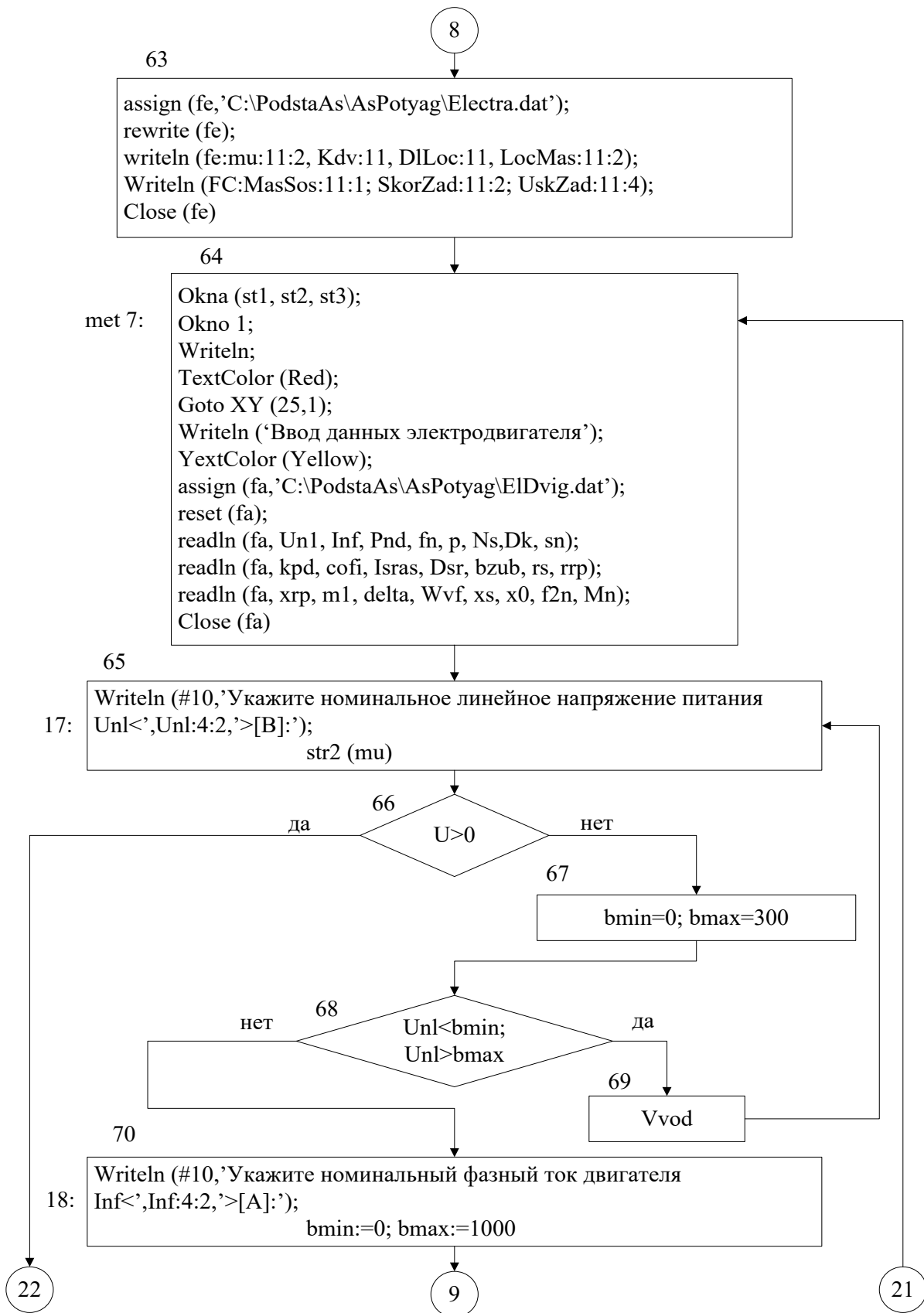


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV (продовження)

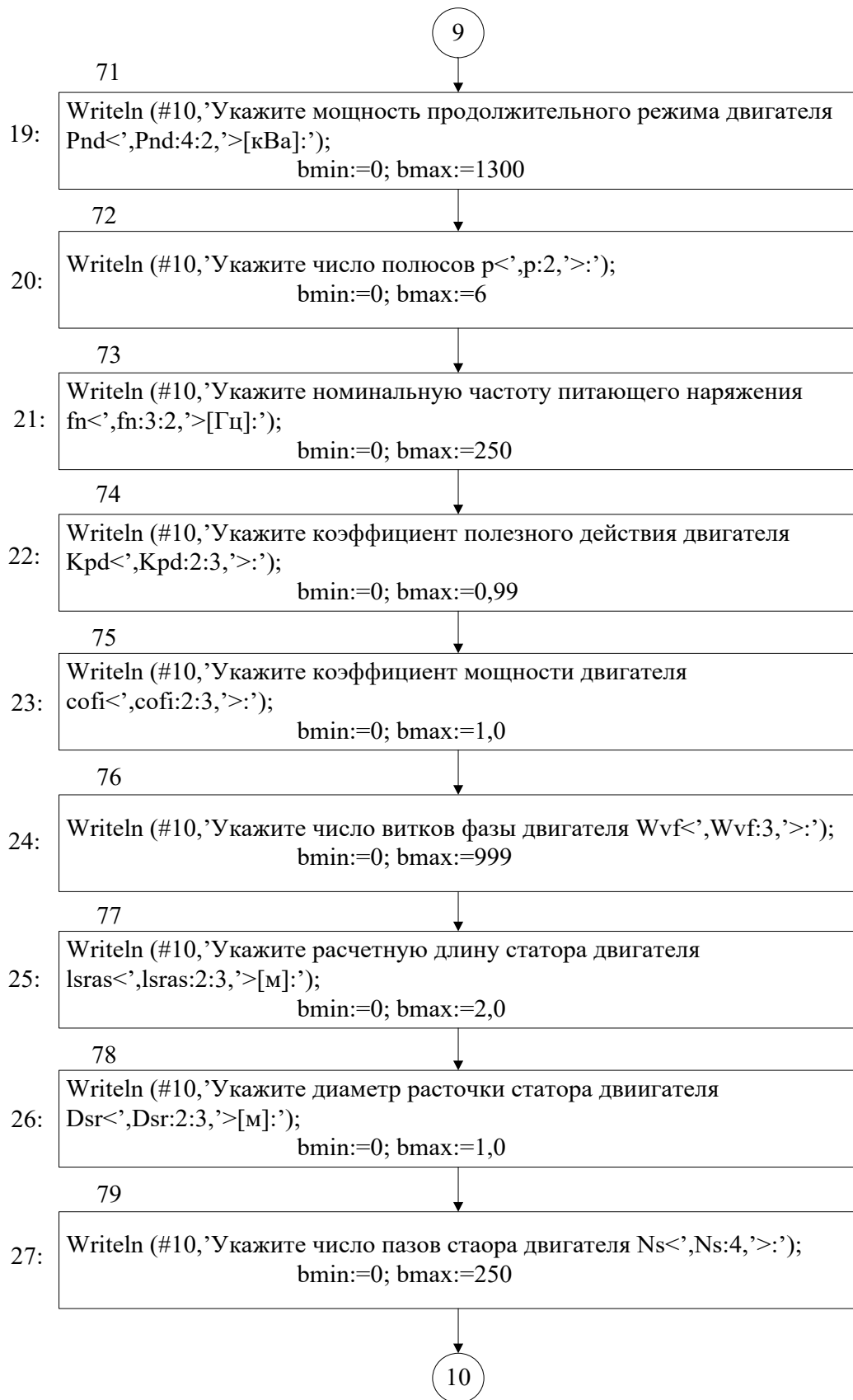


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы RotagVV (продовження)

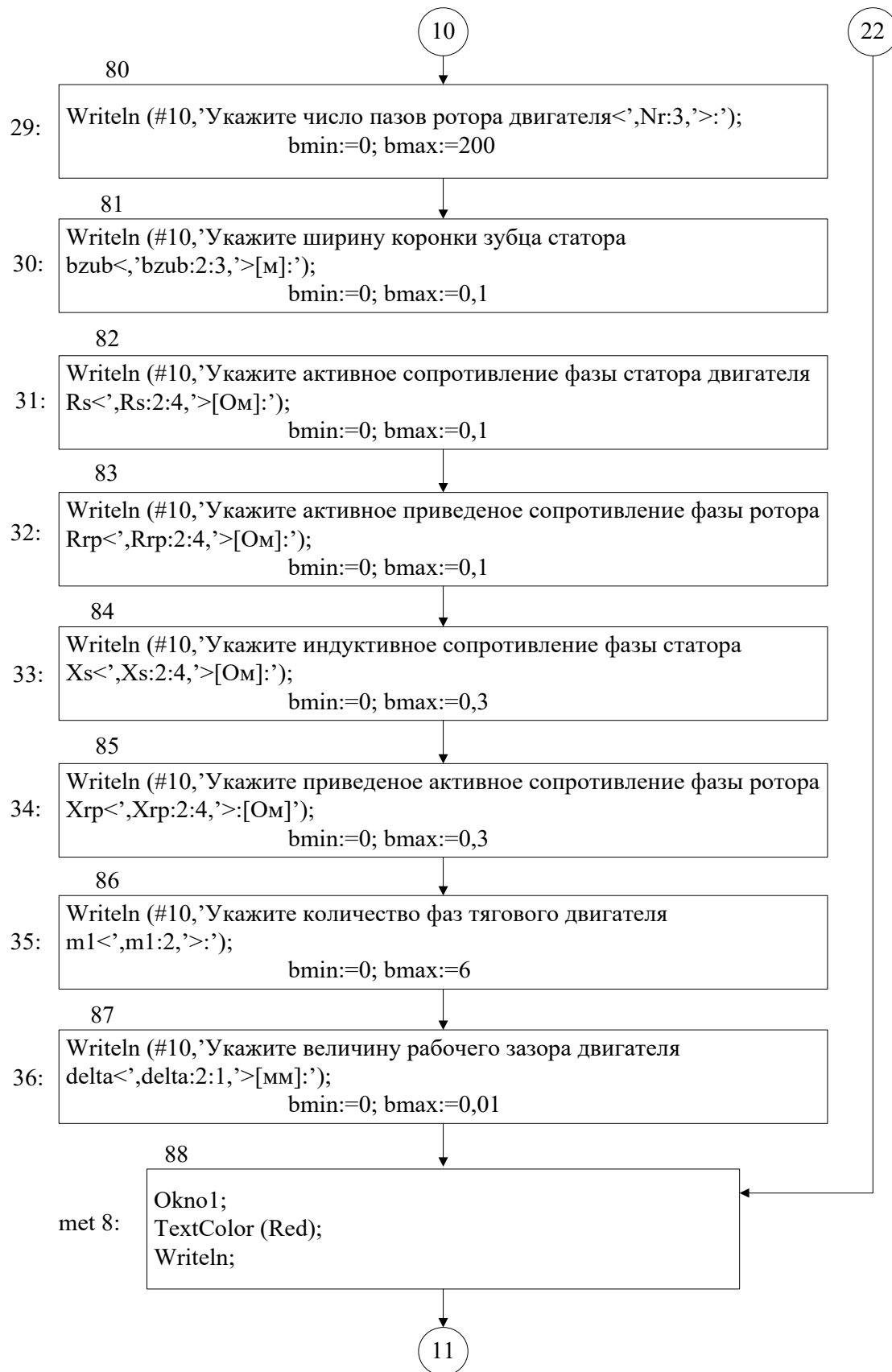


Рисунок 4.1 – Блок-схема програми PotyagVV (продовження)

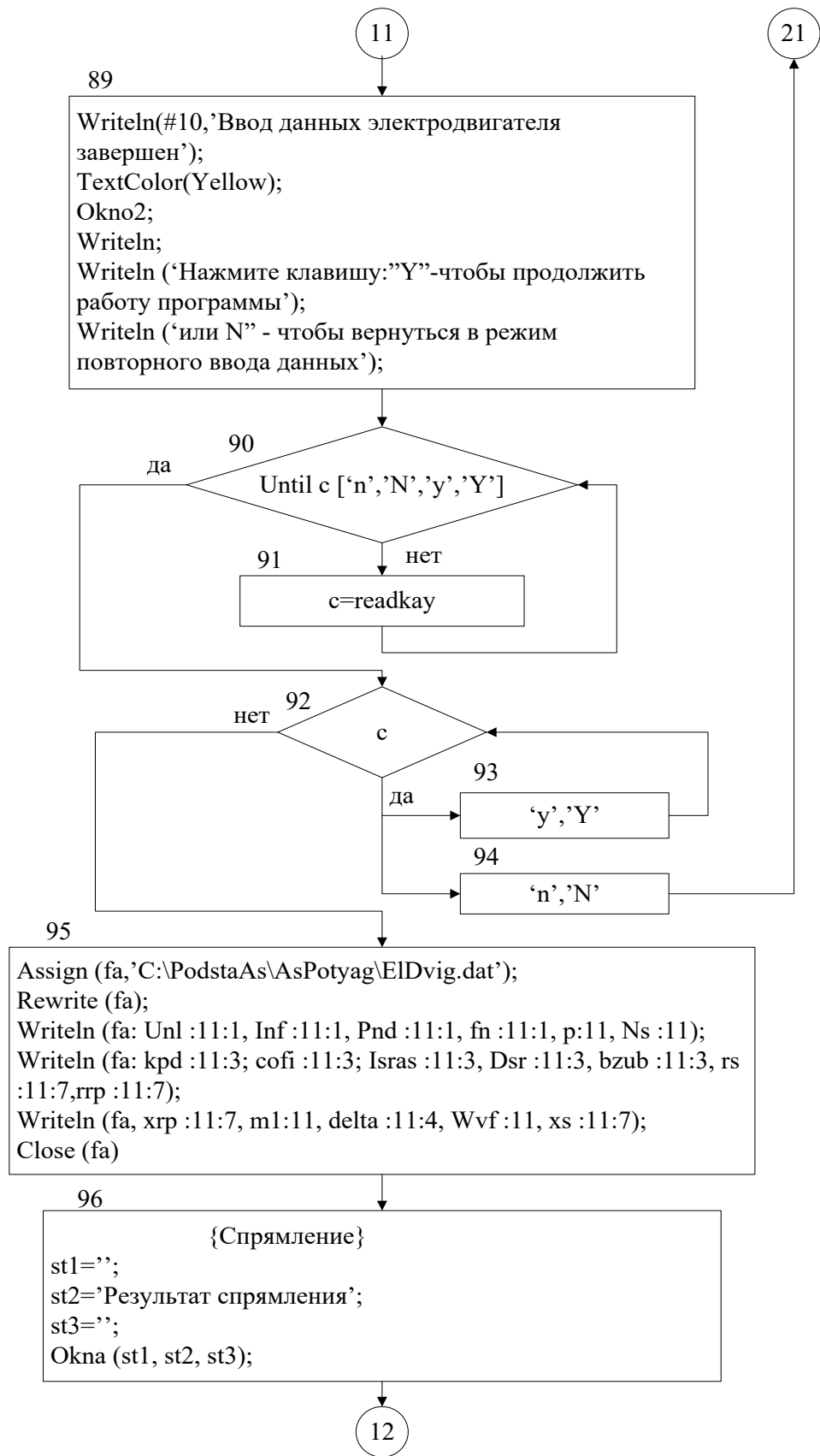


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV (продовження)

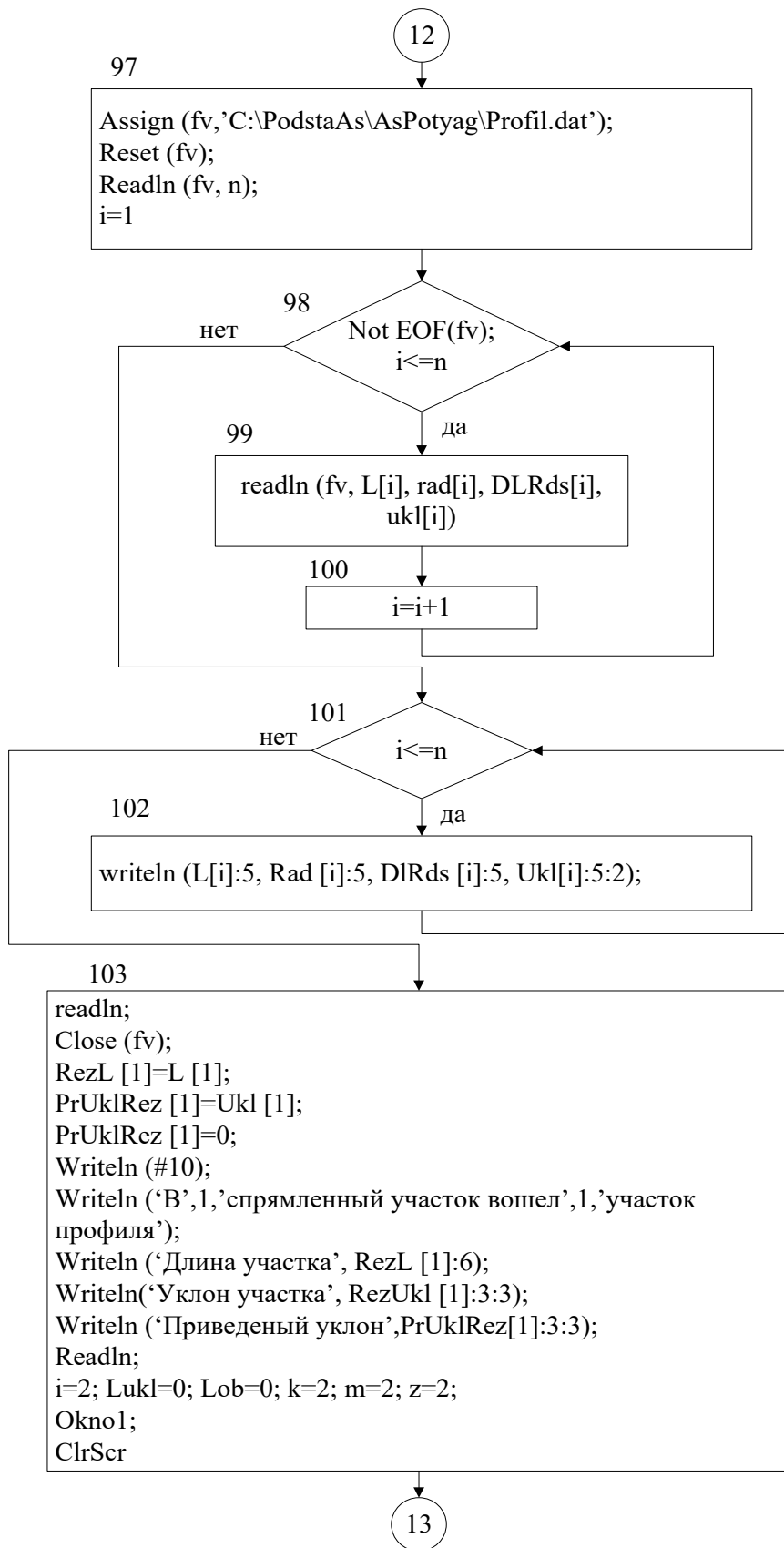


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV (продовжения)

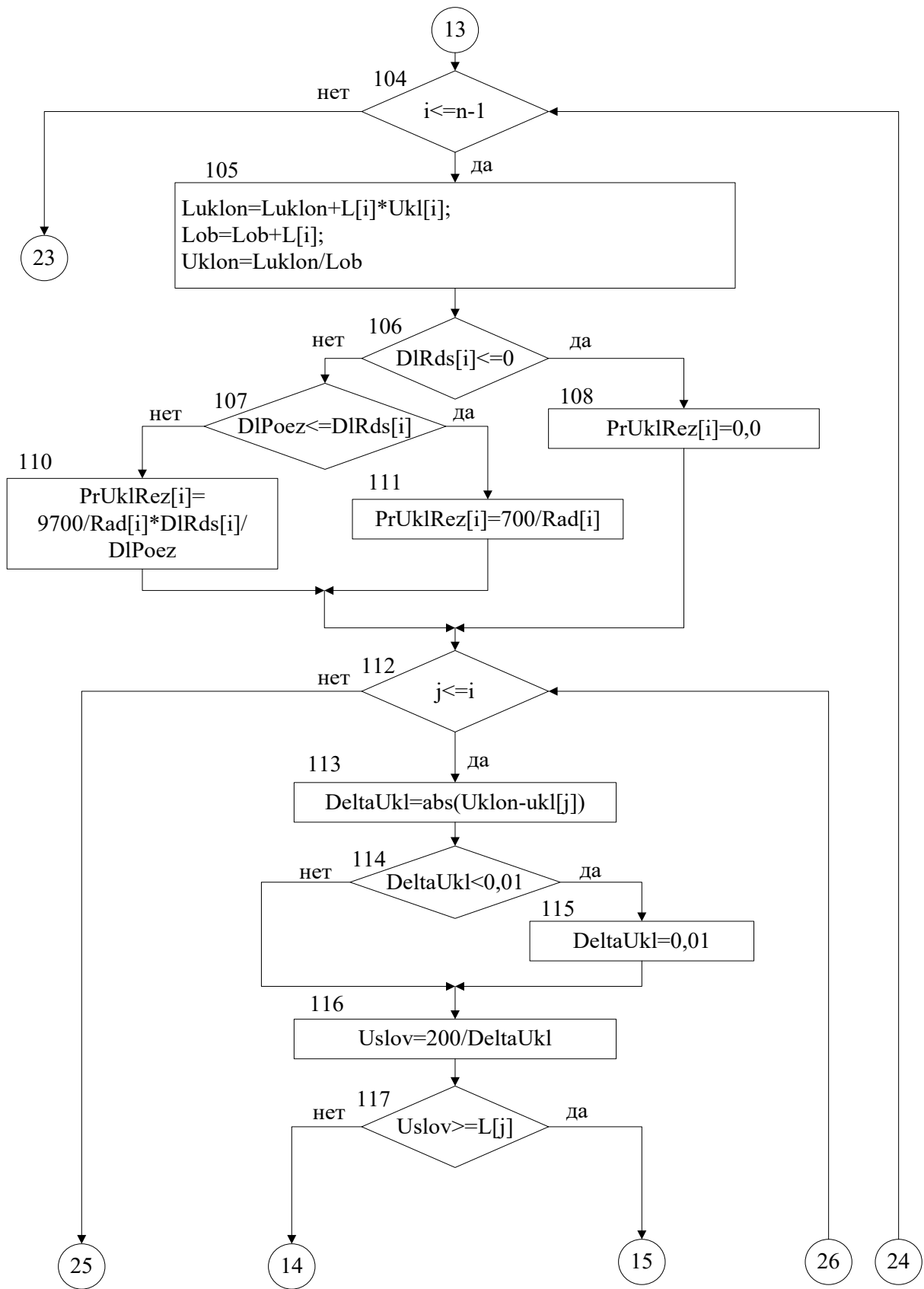


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы RutyagVV (продовження)

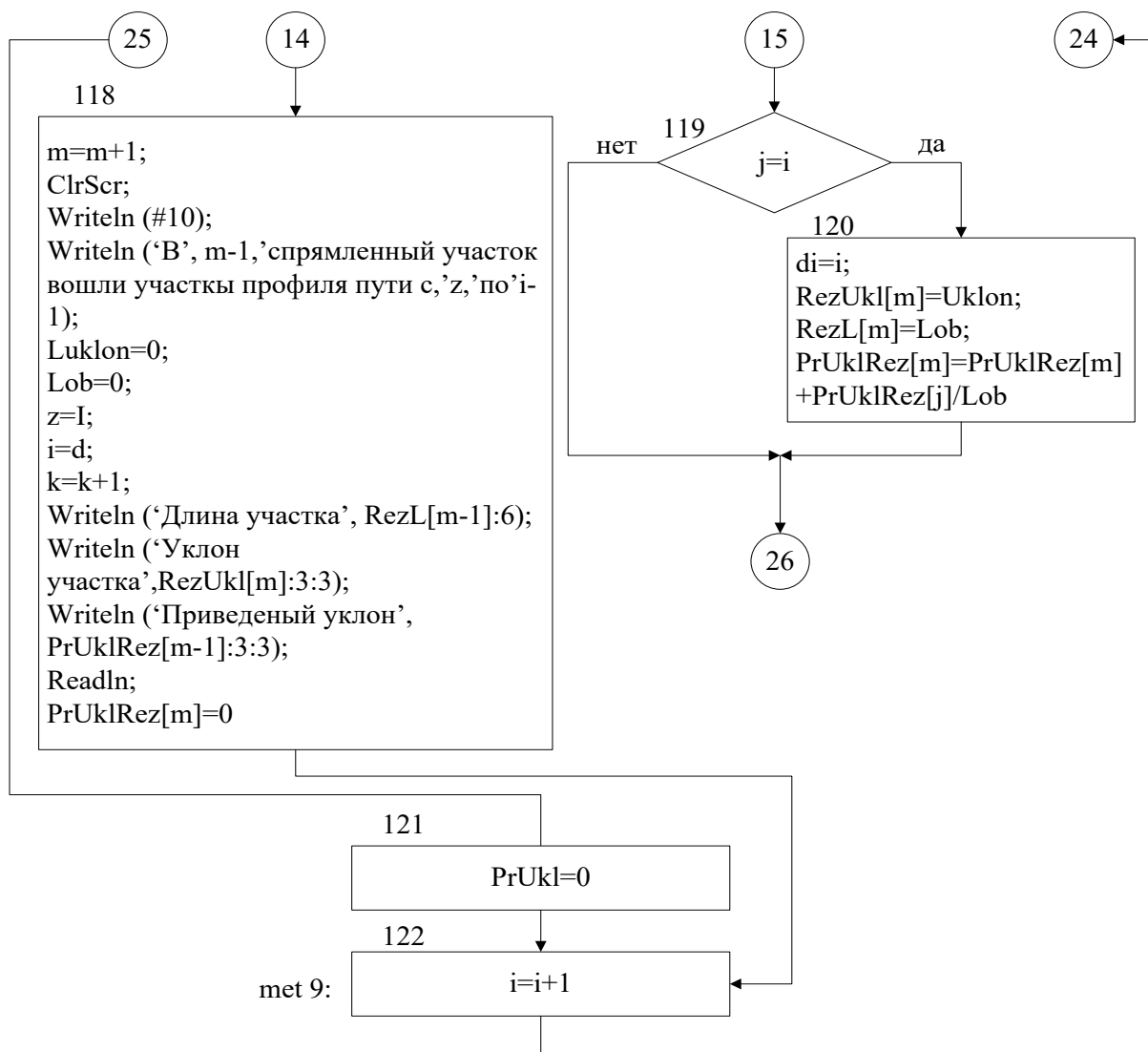


Рисунок 4.1 – Блок-схема программы PotyagVV (продовження)



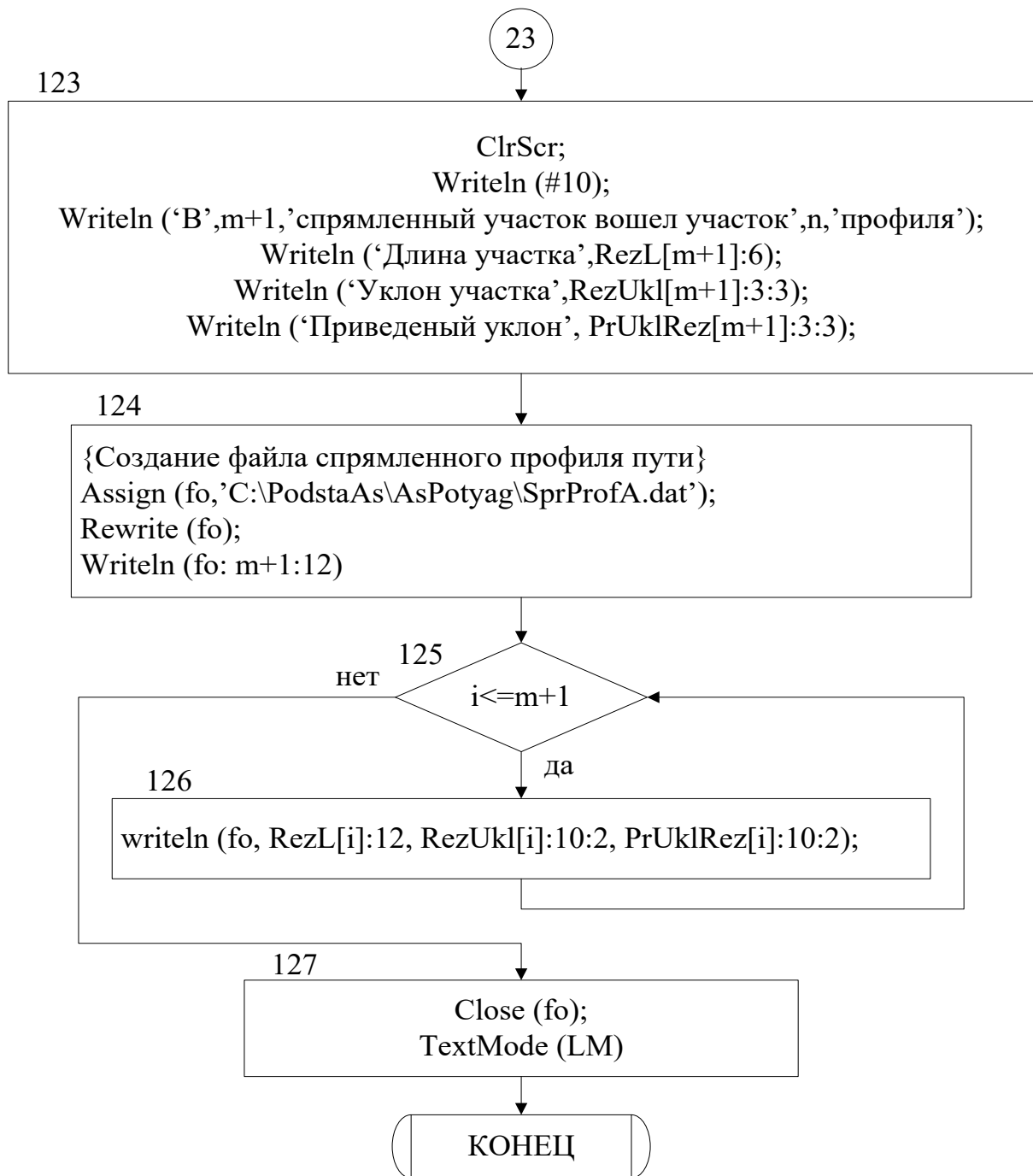


Рисунок 4.1 – Блок-схема програми PotyagVV (закінчення)

вагонів, маси поїзда, заданої швидкості руху, кількості тягових електродвигунів і їх типу) при русі поїздів як у прямому, так і в зворотному напрямках. Вихідні дані програми є вихідними даними програми **PodTyag**.

### **Загальні принципи роботи програми**

Роботу програми можна представити у вигляді етапів:

- розрахунок сил, діючих на поїзд;
- розрахунок кривих руху поїзда;
- розрахунок параметрів і режимів роботи АТД;
- розрахунок енергетичних показників руху поїзда;
- проведення гальмівних розрахунків;
- автоведення поїзда;
- виведення на екран монітора і запис на диск вихідних розрахункових даних.

Під час запуску програми на екран монітора виводиться запит на рух поїзда по спрямленому або неспрямленому профілю шляху. Залежно від відповіді на запит, проводиться зчитування або неспрямленого профілю шляху з файлу *Profil.dat*, або спрямленого профілю з файлу *SprProfA.dat*.

Алгоритми розрахунку сил, що діють на поїзд, розрахунку кривих руху та енергетичних показників руху поїзда повністю співпадає з описом відповідної методики, що наведено в розділі 2.

Алгоритм розрахунку параметрів і режимів роботи асинхронного тягового двигуна наведено у розділі 2. Програма зупинкового гальмування поїзда включається, коли відстань до кінцевої станції при русі поїзда складе не більше 1000 м. Методика розрахунку зупинкового гальмування наведена в розділі 2 (2.17).

Програма автоведення поїзда використовує результати розрахунку сил, що діють на поїзд, розрахунків кривих руху та енергетичних

показників поїзда, режимів роботи АТД, здійснює безперервний контроль цих параметрів і керує рухом поїзда. Програма автоведення розрізняє такі режими роботи асинхронного тягового двигуна:

- управління частотою і величиною напруги живлення АТД при загальмованому роторі двигуна;

- управління величиною напруги на статорі двигуна пропорційно частоті струму (режим розгону);

- управління частотою струму статора і ротора при постійній напрузі живлення АТД;

- управління частотою струму статора при постійній напрузі живлення і частоті струму ротора двигуна;

- управління режимами рекуперативного і механічного гальмування поїзда.

У процесі руху поїзда програма виділяє режими тяги, вибігу та пригальмовування.

В основу алгоритму програми автоведення покладено такі принципи:

- управління рухом поїзда здійснюється тільки за рахунок зміни частоти струму статора АТД, всі інші параметри, що визначають режим роботи двигуна, є функцією частоти;

- збільшення швидкості руху поїзда здійснюється за рахунок збільшення частоти струму статора на величину, пропорційну заданому прискоренню поїзда;

- рух поїзда починається при досягненні частотою струму статора нижнього граничного значення, обумовленого граничним значенням моменту на валу двигуна;

- збільшення або зменшення опору руху поїзда призводить до збільшення або зменшення частоти струму ротора; для утримання частоти струму ротора в межах від номінального до критичного значення

здійснюється зміна напруги живлення АТД (зменшення або ж збільшення її значення пропорційно зміні частоти струму ротора);

– режим вибігу обумовлюється запам'ятовуванням напруги живлення АТД і частоти струму статора з подальшим їх обнуленням, тобто тяга електровоза прирівнюється до нуля;

– режим пригальмовування здійснюється зниженням частоти струму статора до входження двигуна в генераторний режим, з подальшим управлінням гальмівної силою електровоза напругою живлення АТД;

– режим зниження швидкості руху здійснюється зменшенням частоти струму статора на величину пропорційну заданому уповільненню поїзда з наступною зміною напруги живлення;

– зупинкове гальмування поїзда починається за 1000 м до станції шляхом рекуперативного гальмування, тобто зниженням частоти струму статора до переходу АТД у генераторний режим роботи. При зменшенні відстані від поїзда до станції до величини менше розрахункової включається пропорційне швидкості руху поїзда механічне гальмування. Для візуального контролю ходу виконання програми поточні розрахункові дані програми відображаються на екрані монітора та паралельно записуються на диск у файли RezultA.dat (дані руху поїзда від підстанції А) і RezultB.dat (дані руху поїзда від підстанції Б).

### **Склад програми PotyagA та опис її структури.**

Програма PotyagA містить 8 процедур (табл. 4.2).

Процедура Zvuck1 призначена для звукової індикації виникнення помилки при виконанні програми. Вона ініціює подачу тривалого звуку високої частоти. Процедура Zvuck2 призначена для звукової індикації успішного завершення роботи фрагмента програми та ініціює подачу короткого сигналу низької частоти.

Процедура Okno1 виводить на екран монітора інформаційне вікно, в якому програма відображає результати розрахунку і запити до користувача. Розміри вікна 2, 2, 78, 17; колір фону блакитний, колір символів жовтий.

Процедура Okno2 виводить на екран монітора діалогове вікно, в якому програма відображає підказки користувачу та коментарі про хід виконання фрагментів програми. Розміри вікна 2, 19, 78, 24; колір фону сірий, колір символів синій.

Процедура Okna дозволяє оновити виведену на екран монітора інформацію.

Процедура Vvod виводить на екран монітора повідомлення користувачу про помилку, що виникла при введенні даних з клавіатури.

Процедура STR1 забезпечує збереження або оновлення значень цілочислових типів даних у процесі їх введення оператором.

Процедура STR2 забезпечує збереження або оновлення значень дійсних типів даних у процесі їх введення оператором.

Таблиця 4.2. – Структура програми

Елементи Алгоритму	Виконувані дії
1	2
1 – 6	Відкриття файлу даних профілю колії Profil.dat для читання. Читання довжин, ухилів ділянок, радіусів і довжин кривих ділянок. Зчитування даних поїзда, електровоза і тягових електродвигунів. Закриття вхідних файлів.
7 – 10	Вибір спрямленого або неспрямленого профілю колії.
11 – 25	Розрахунок ефективного підйому профілю колії.
26 – 39	Завдання профілю колії при русі від станції Б.

Закінчення таблиці 4.2.

1	2
40 – 43	Обчислення шляху пройденого поїздом.
44 – 53	Завдання значень величин і коефіцієнтів розрахункових даних.
54 – 64	Обчислення проміжних величин.
65	Розрахунок питомого опору руху локомотива.
66	Обчислення питомого опору руху составу.
67 – 69	Обчислення опору руху поїзда.
70	Обчислення моменту тяги поїзда.
71 – 72	Завдання початкової частоти і струму двигуна.
73 – 74	Виклик підпрограми розрахунку режиму роботи тягового двигуна.
75 – 79	Розрахунок кривих руху поїзда.
80 – 91	Завдання режиму руху поїзда при розгоні.
92	Виведення часу руху і кривої руху поїзда.
93 – 102	Виведення розрахункових даних руху поїзда.
103 – 105	Активізація режиму зупинкового гальмування.
106 – 107	Завдання режиму механічного або рекуперативного гальмування.
108 – 115	Розрахунок режиму рекуперативного гальмування.
116 – 128	Розрахунок режиму механічного гальмування.
129 – 130	Виведення розрахункових даних режиму гальмування.
131 – 138	Запис у вихідні файли розрахункових даних. Закриття файлу
139 – 148	Запуск програми PodTyag.
149 – 157	Запуск програми PodNap
158	Завершення роботи програми.

Блок-схема програми **PotyagA** наведена на рисунку 4.2.

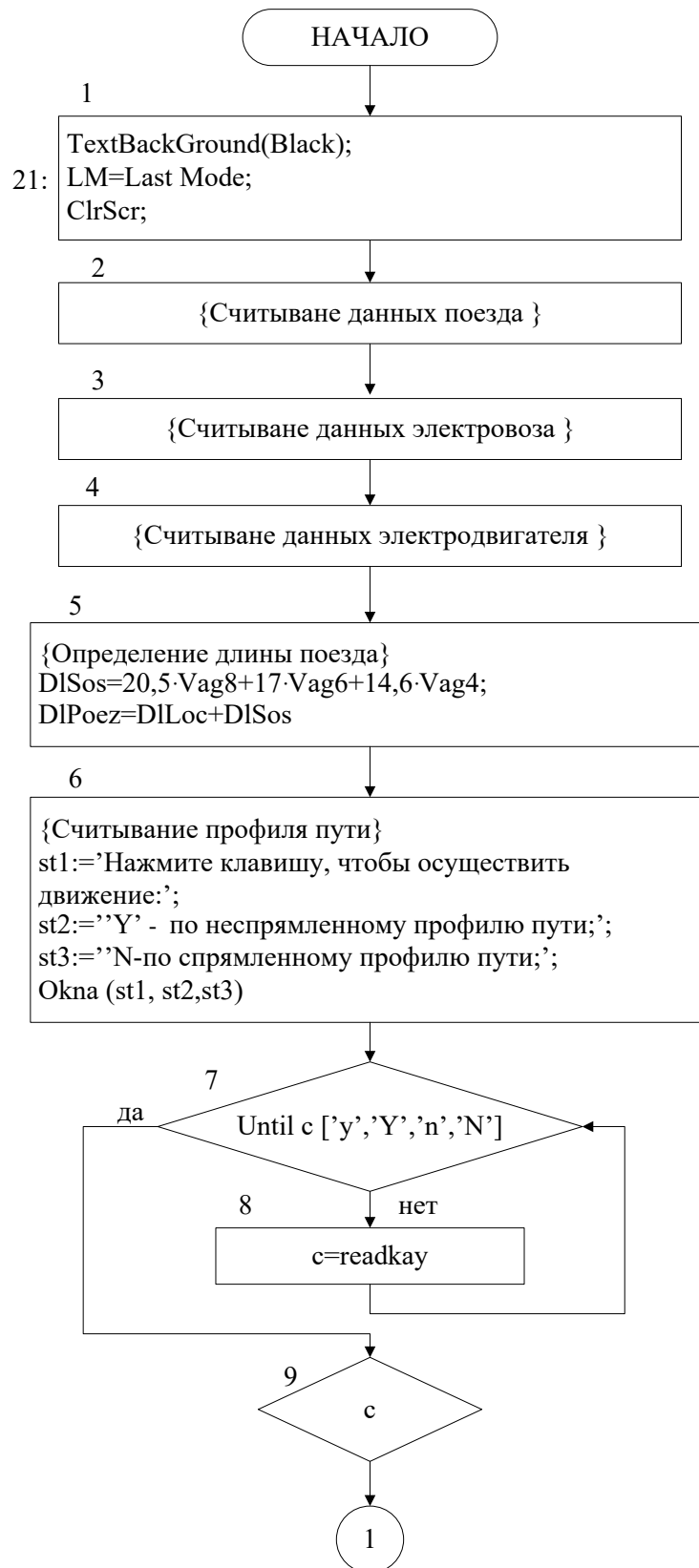


Рисунок 4.2 – Блок-схема програми PotyagA

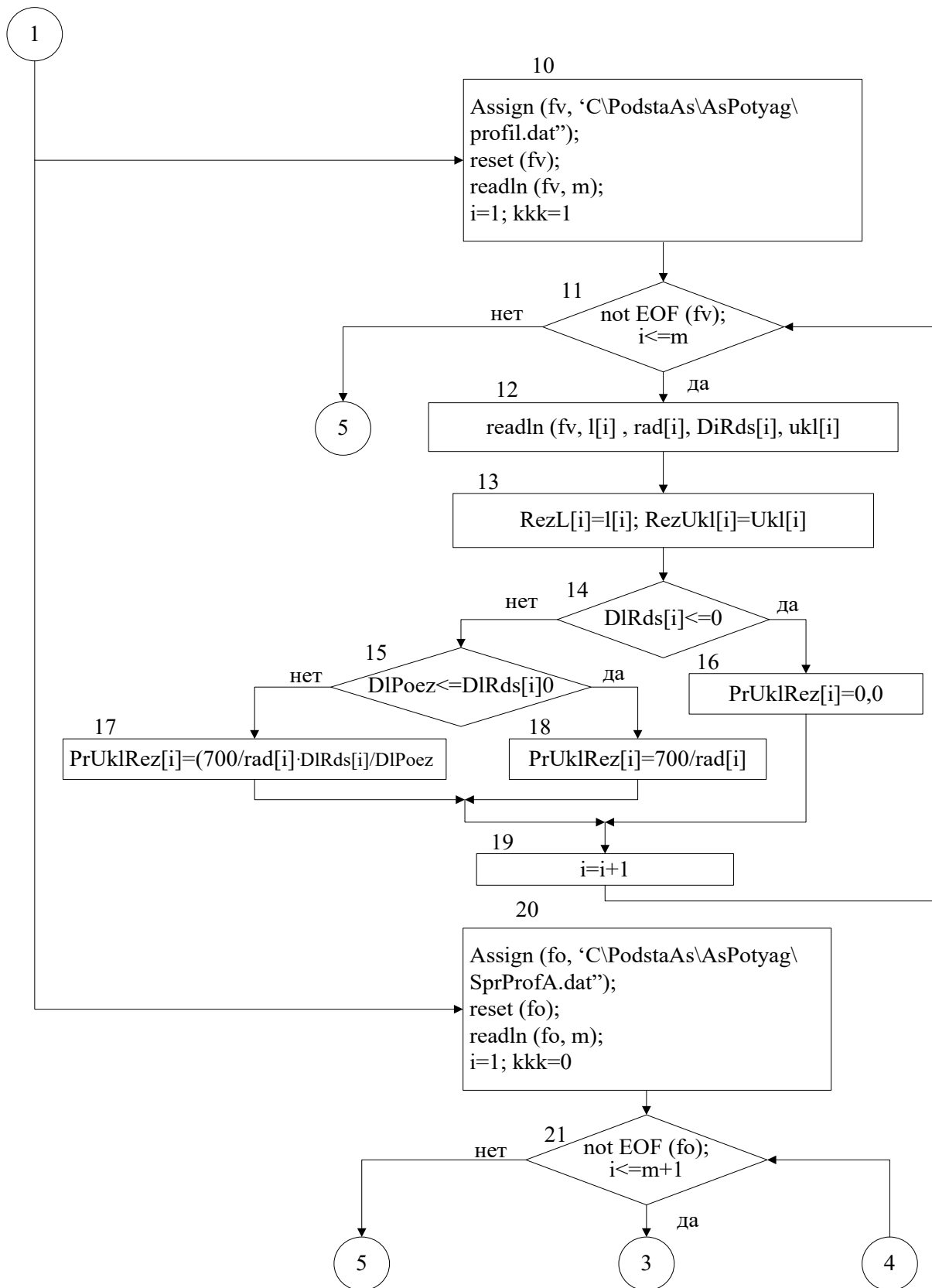


Рисунок 4.2 – Блок-схема програми PotyagA (продовження)



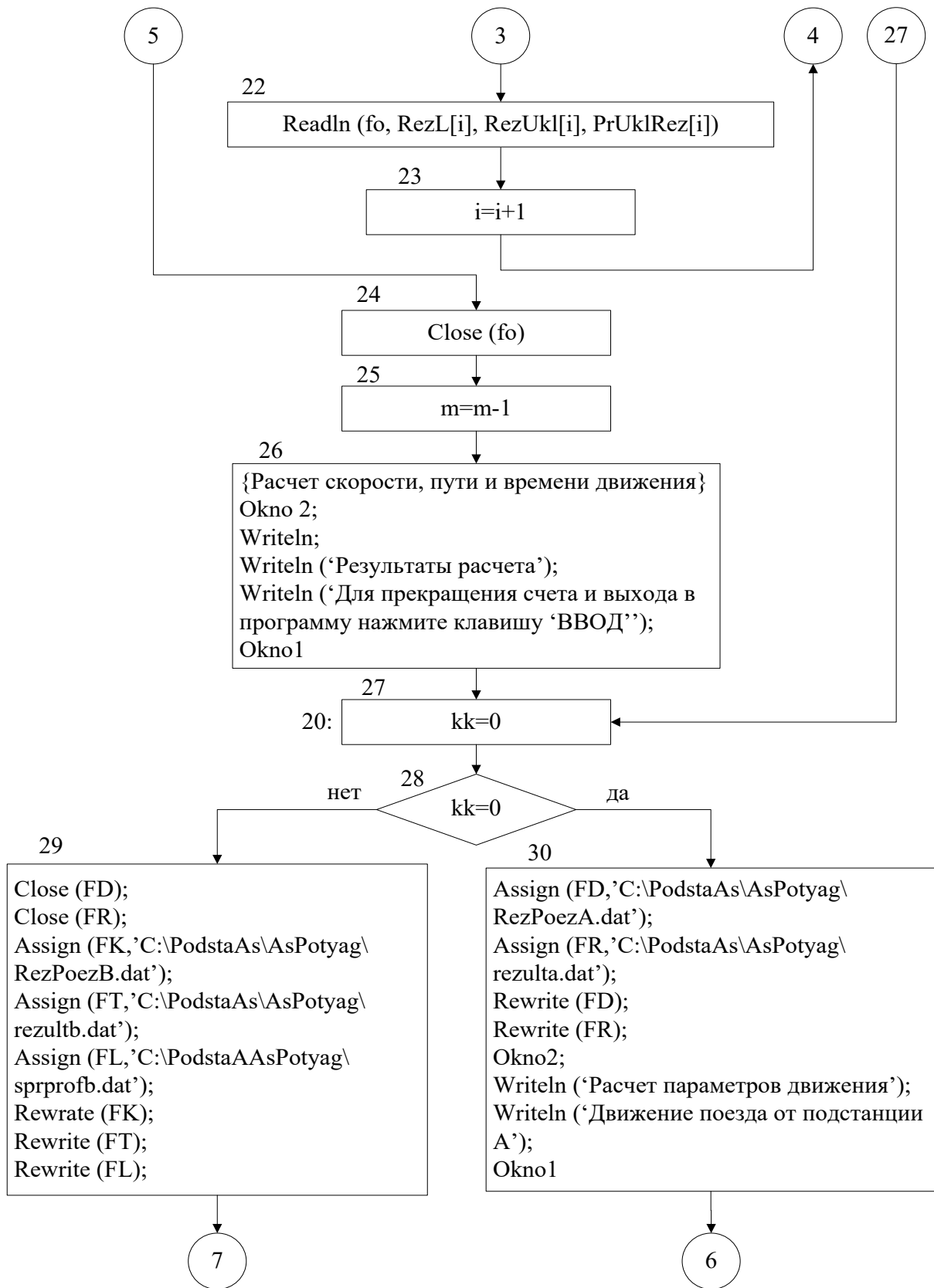


Рисунок 4.2 – Блок-схема программы PotyagA (продовження)

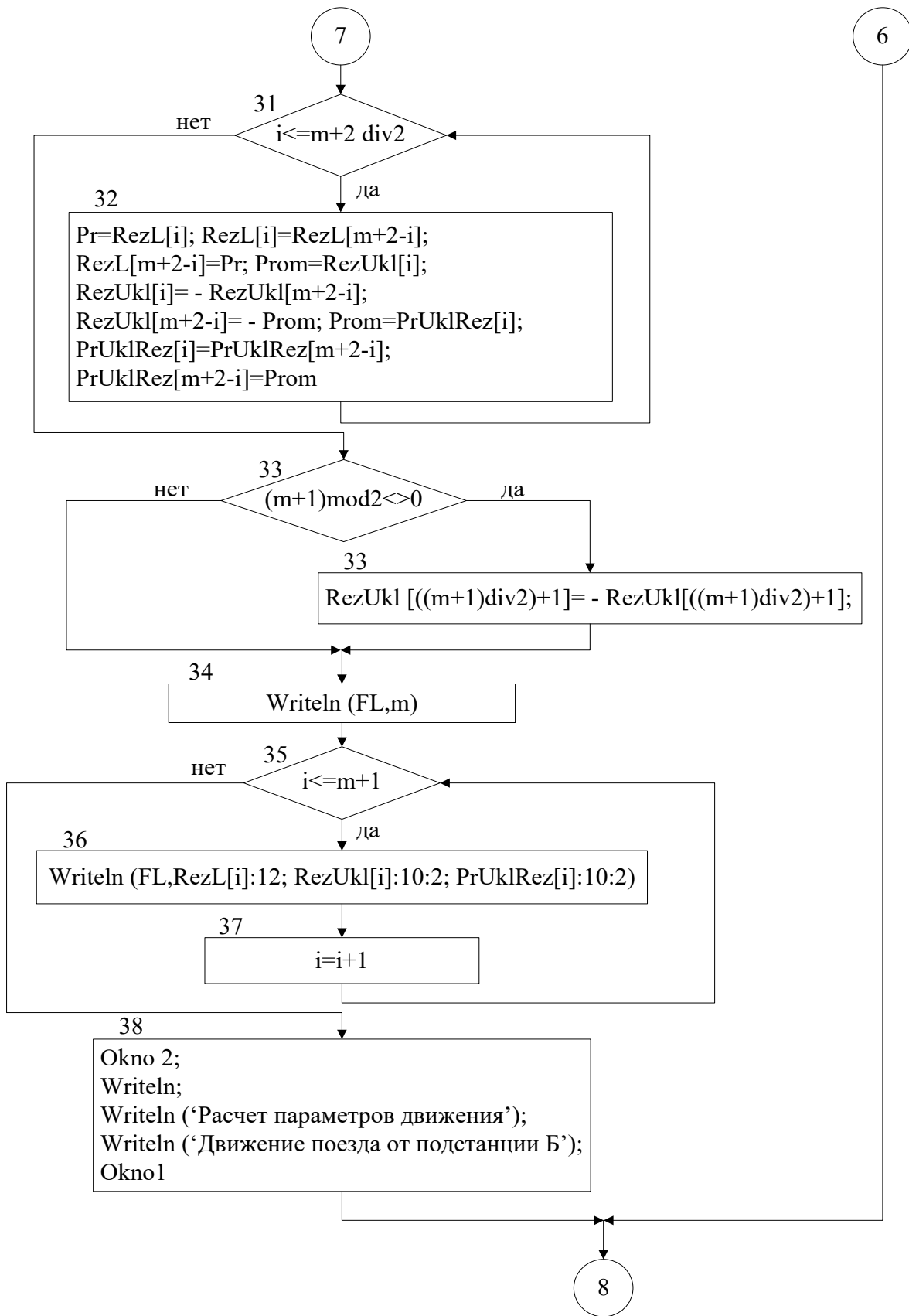


Рисунок 4.2 – Блок-схема програми PotyagA (продовження)

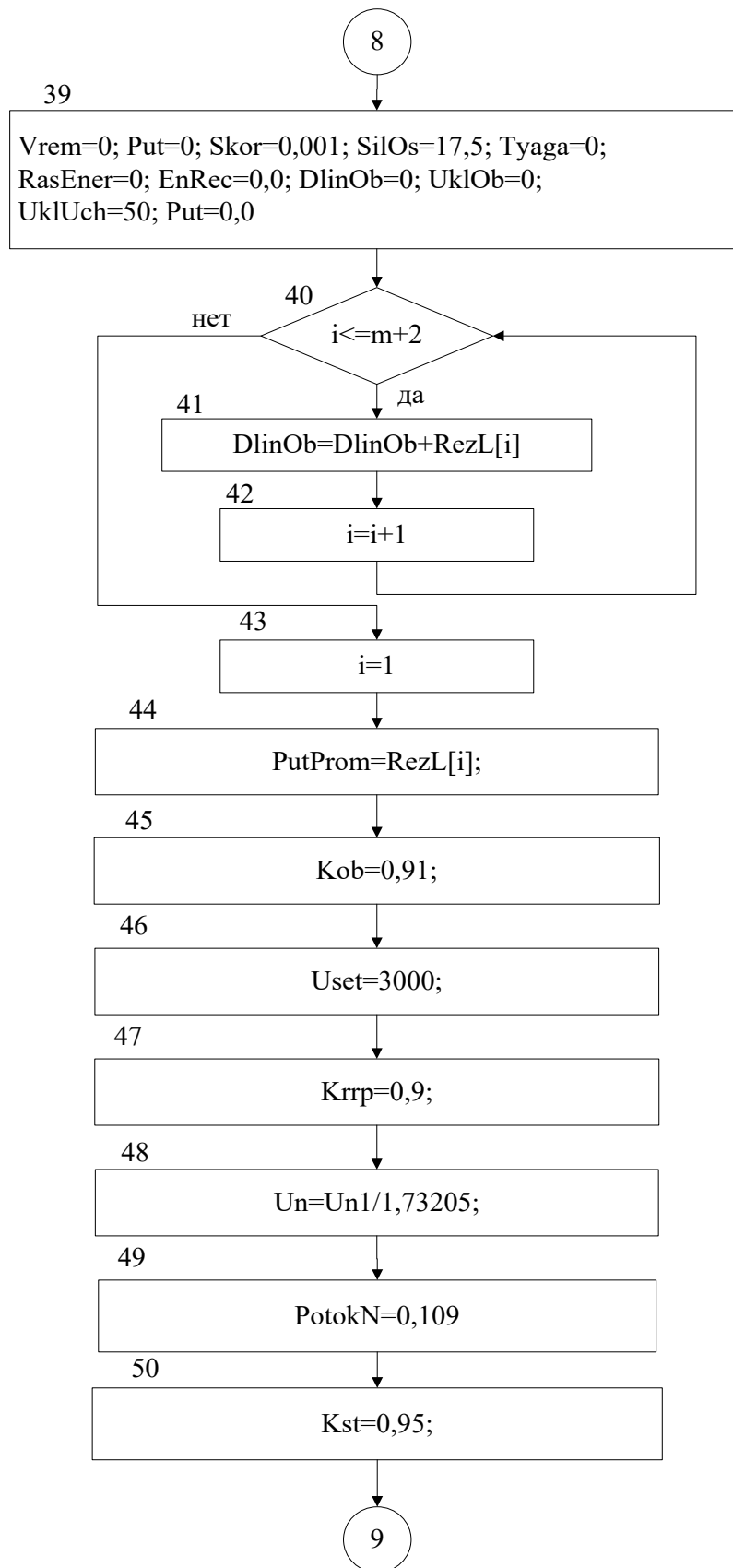


Рисунок 4.2 – Блок-схема программы PotyagA (продовження)

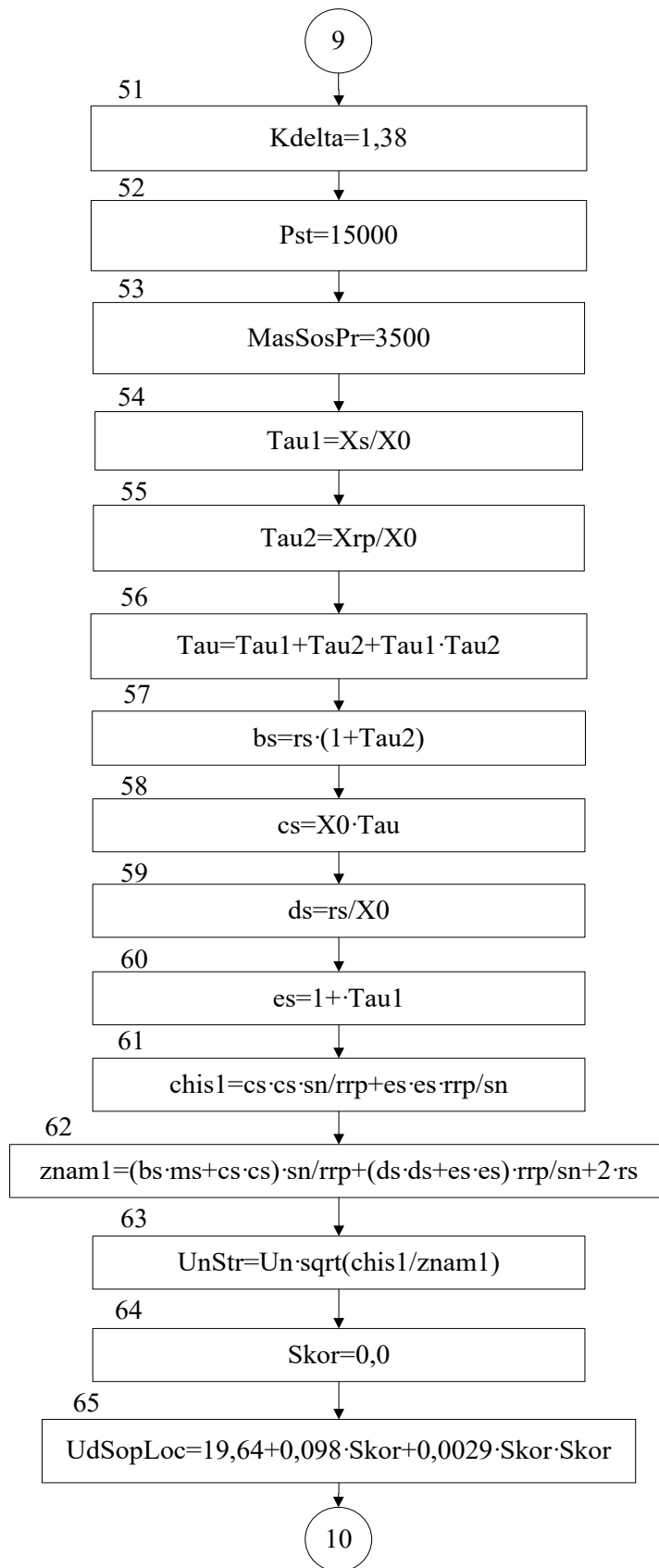


Рисунок 4.2 – Блок-схема програми PotyagA (продовження)

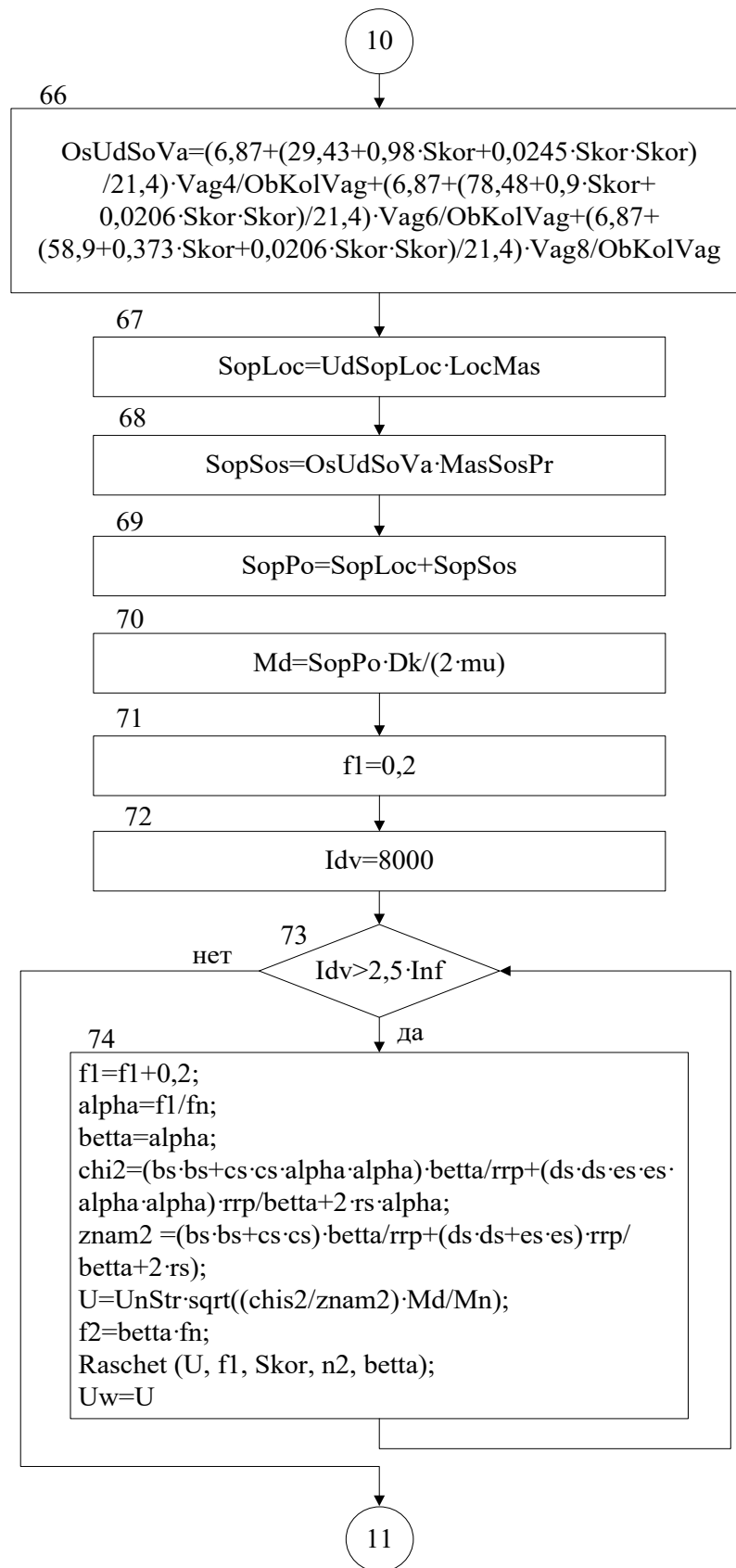


Рисунок 4.2 – Блок-схема программы RotuagA (продовження)

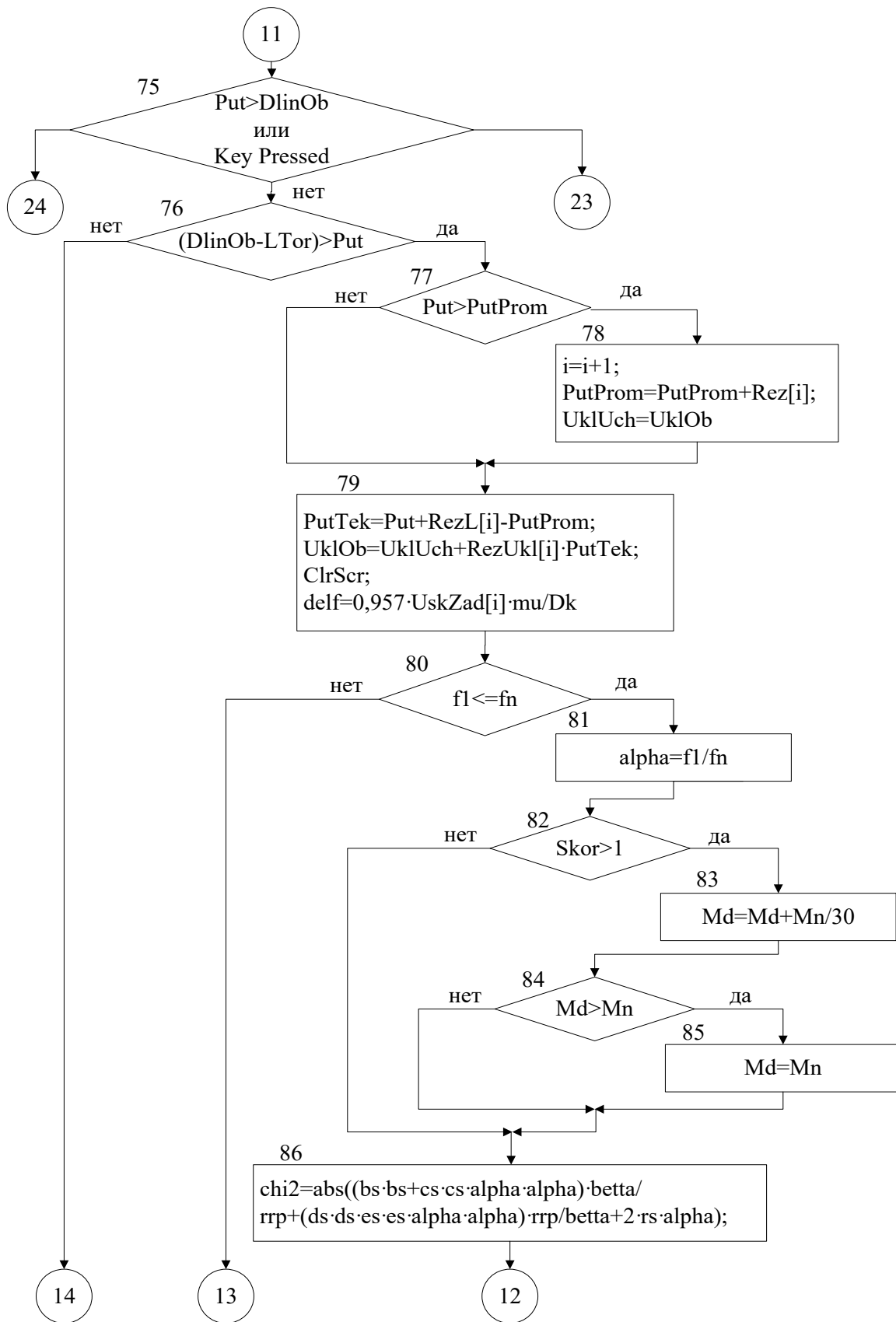


Рисунок 4.2 – Блок-схема програми PotyagA (продовження)

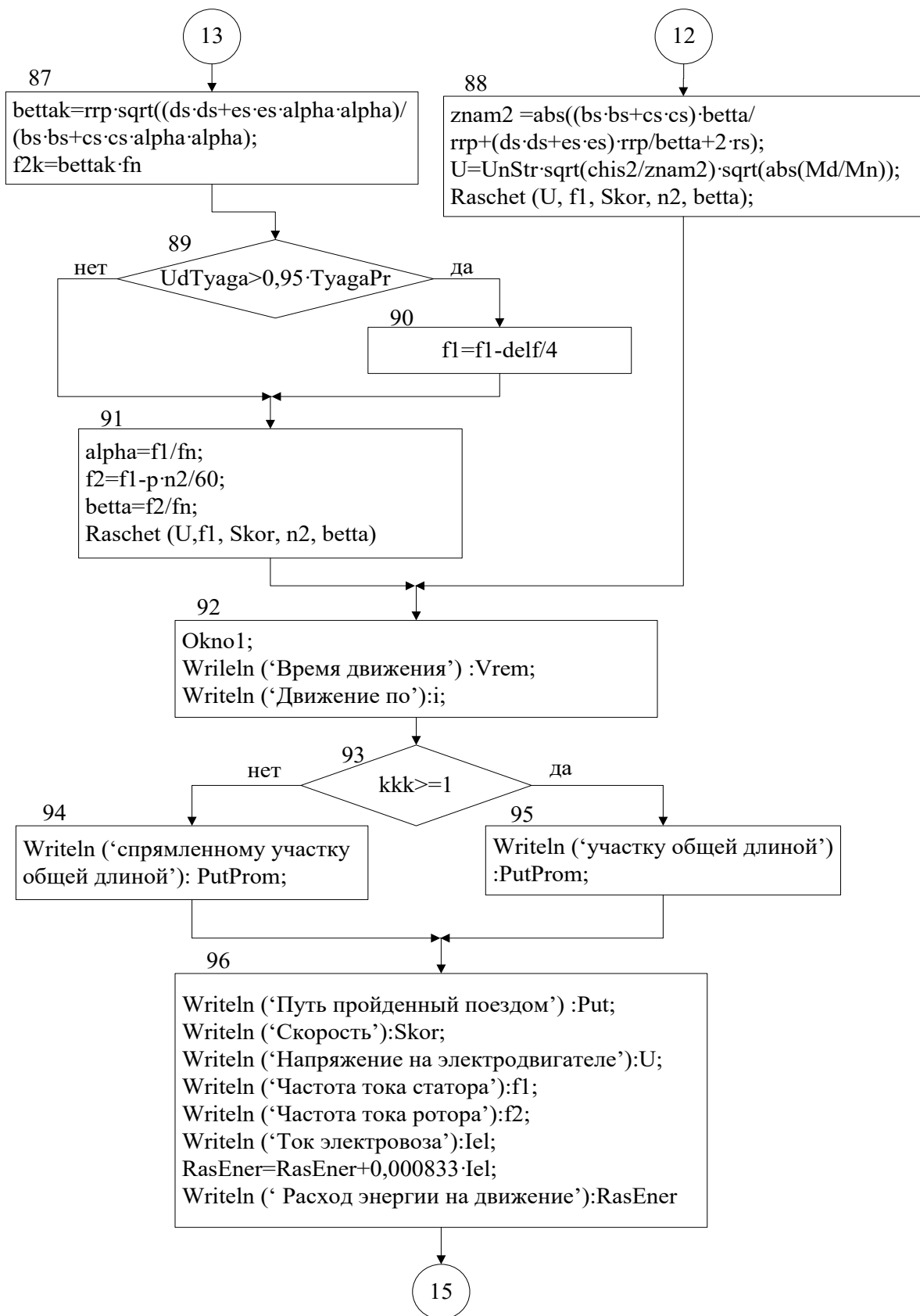


Рисунок 4.2 – Блок-схема программы PotyagA (продовження)

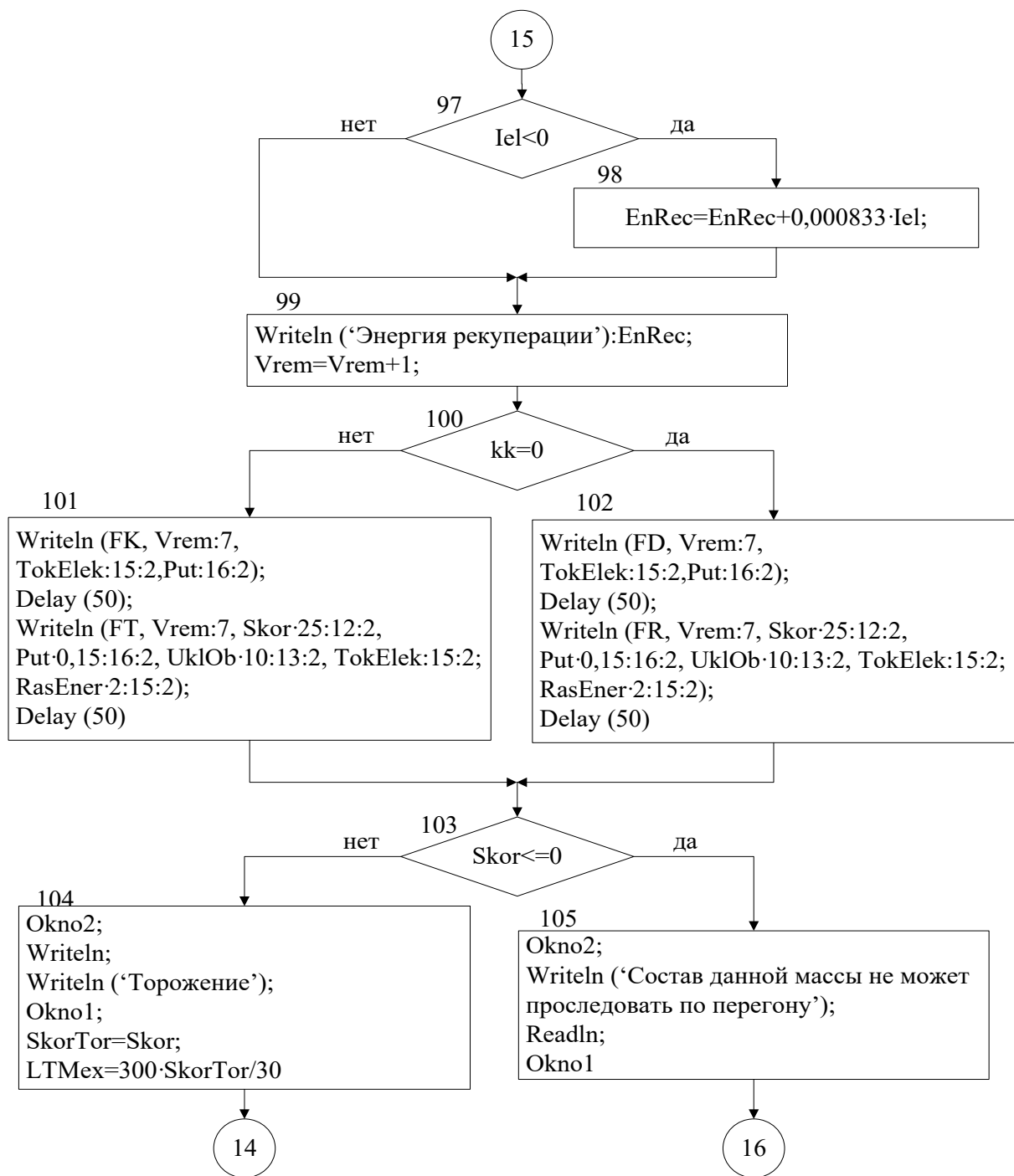


Рисунок 4.2 – Блок-схема программы PotyagA (продовження)



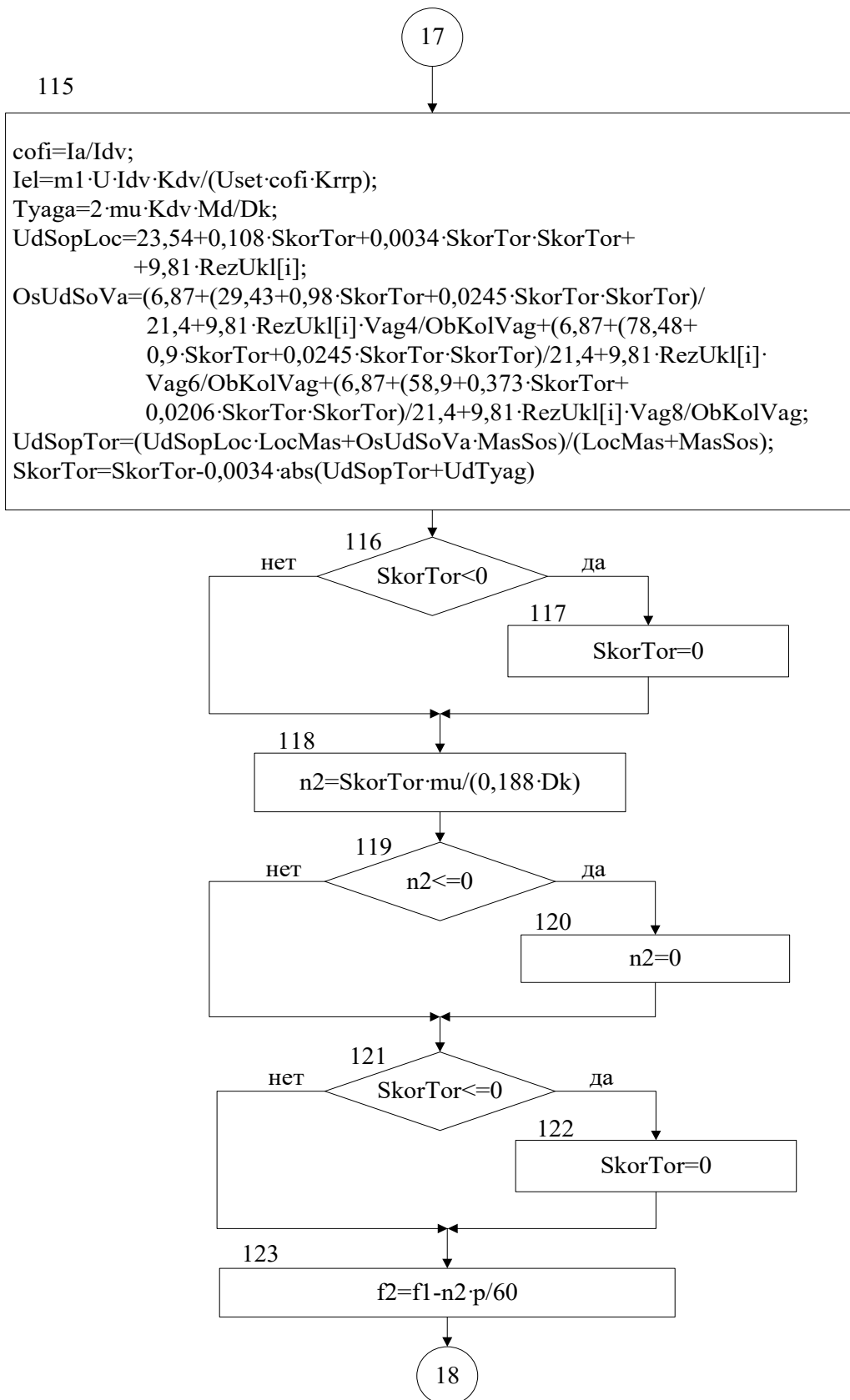


Рисунок 4.2 – Блок-схема программы RotuagA (продовження)

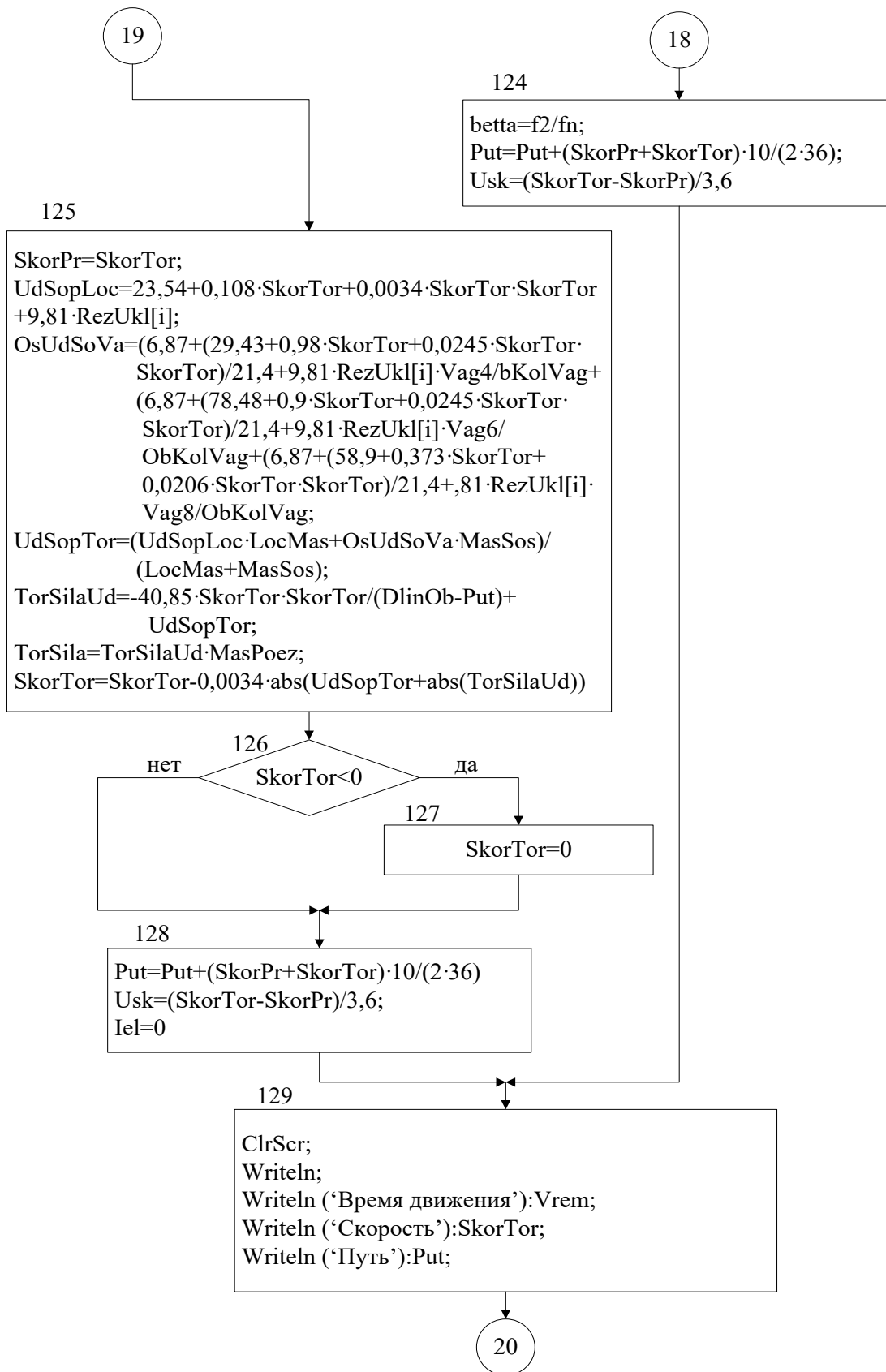


Рисунок 4.2 – Блок-схема программы PotyagA (продовження)

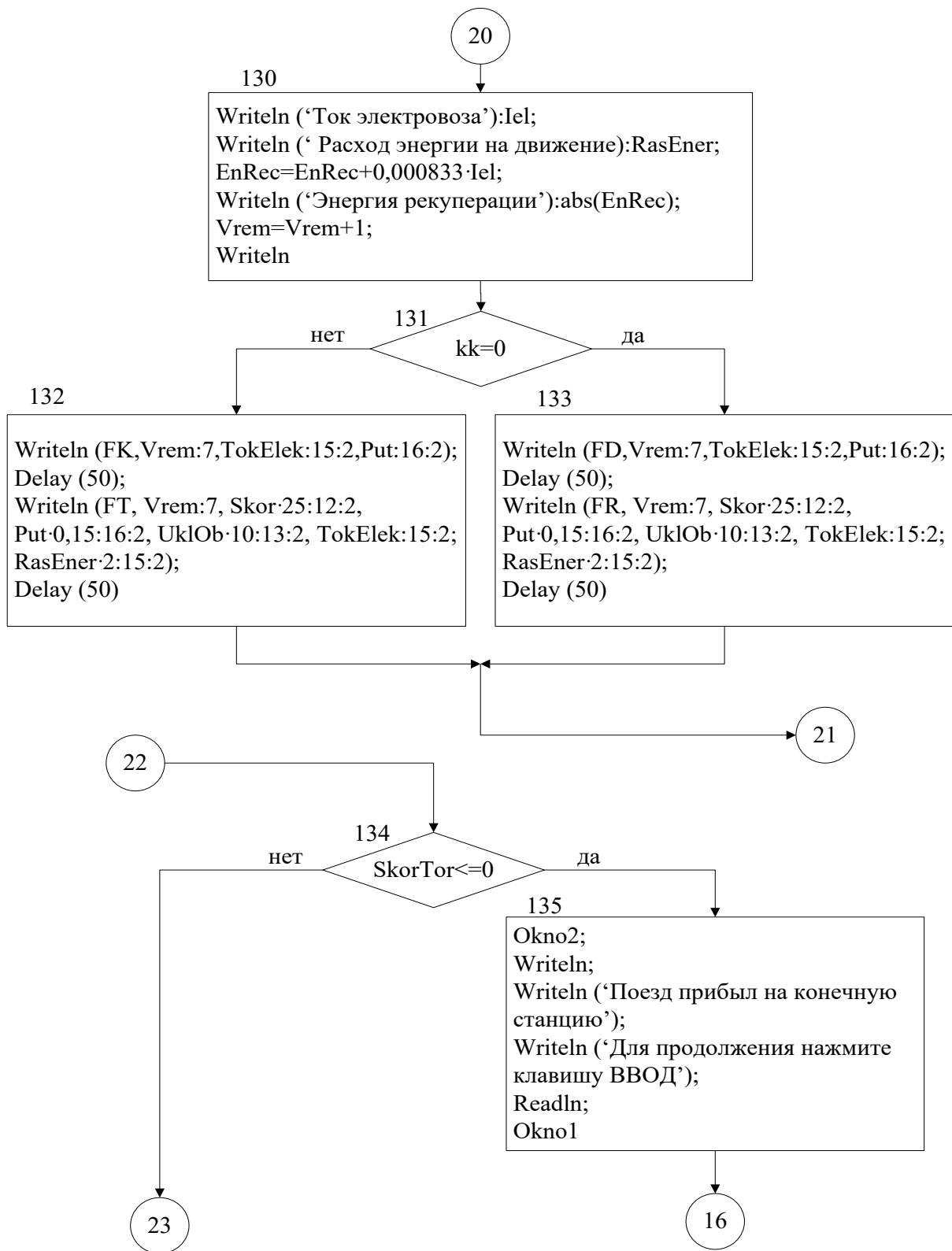


Рисунок 4.2 – Блок-схема программы PotyagA (продовження)

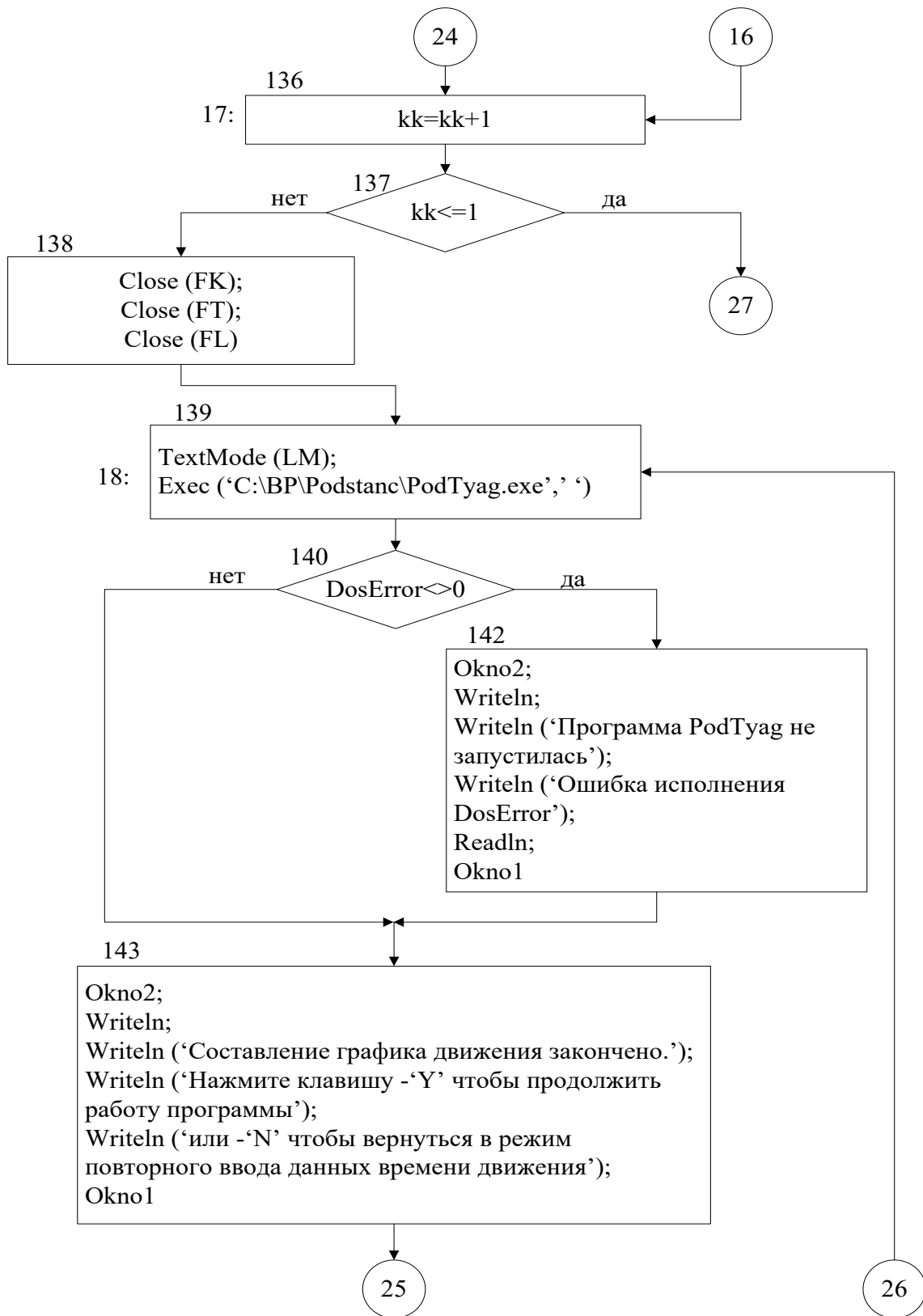


Рисунок 4.2 – Блок-схема программы PodTyagA (продовження)

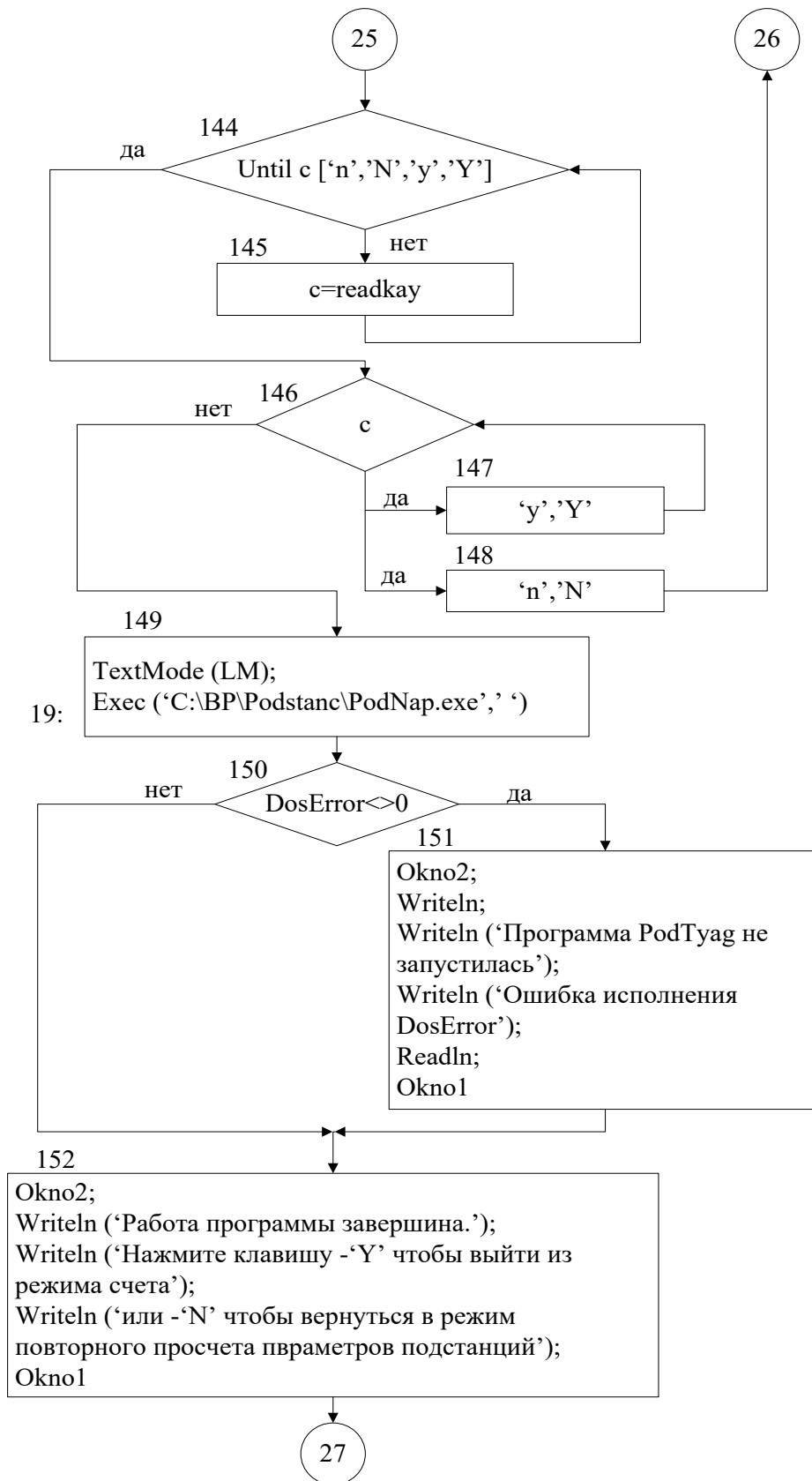


Рисунок 4.2 – Блок-схема програми PodtyagA (продовження)

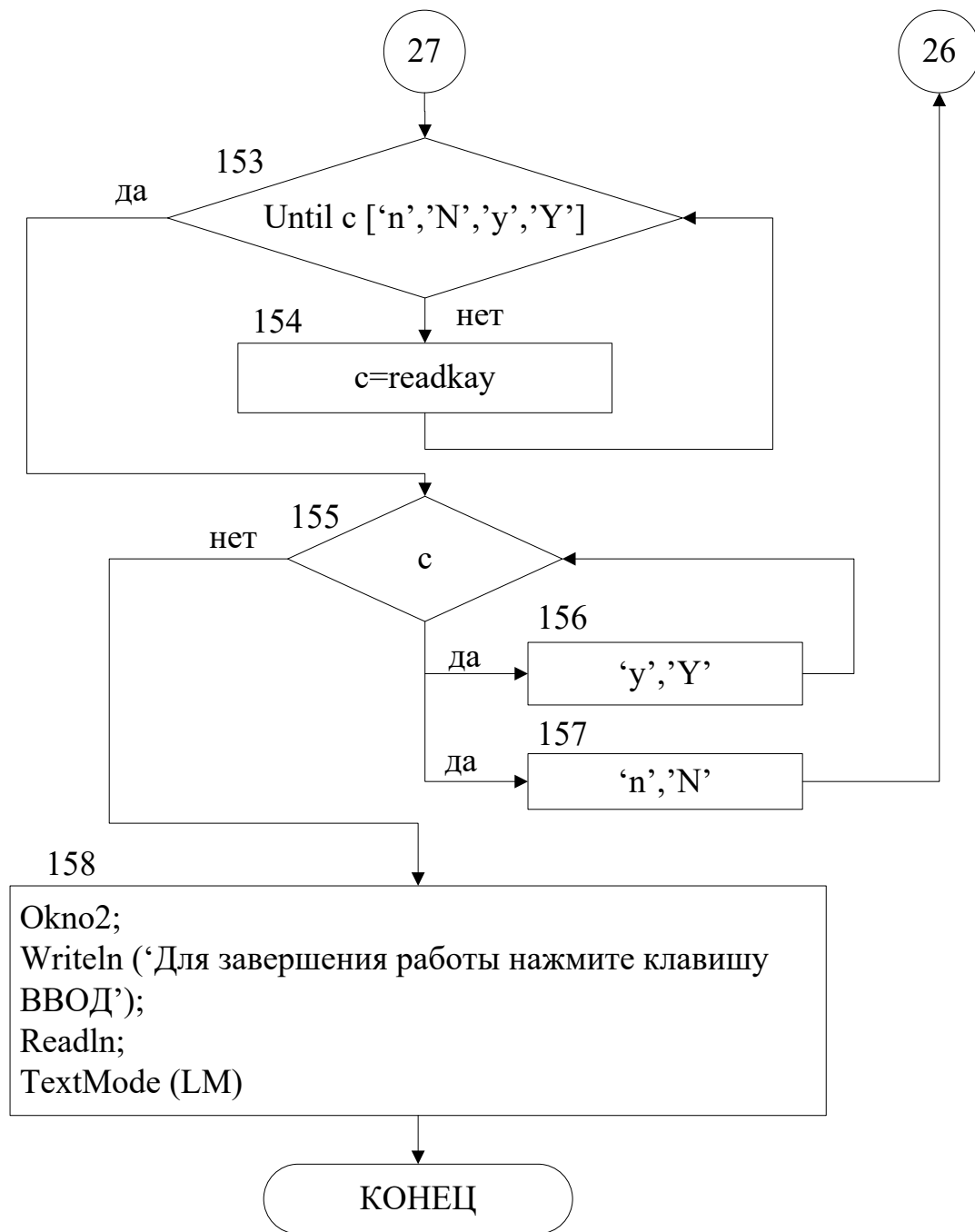


Рисунок 4.2 – Блок-схема програми PotyagA (закінчення)

## Інструкція по експлуатації програми розрахунку режимів руху потягу та режимів роботи тягової підстанції

Після встановлення програми на персональний комп'ютер ярлик файлу, що запускає програму, та результати розрахунку знаходяться у папки Rezalt на робочому столі. Ярлик, що запускає програму, має назву RProjectPoezd. При натисненні на нього відбувається запуск програми та відображається вікно, що наведено на рис. 4.3.

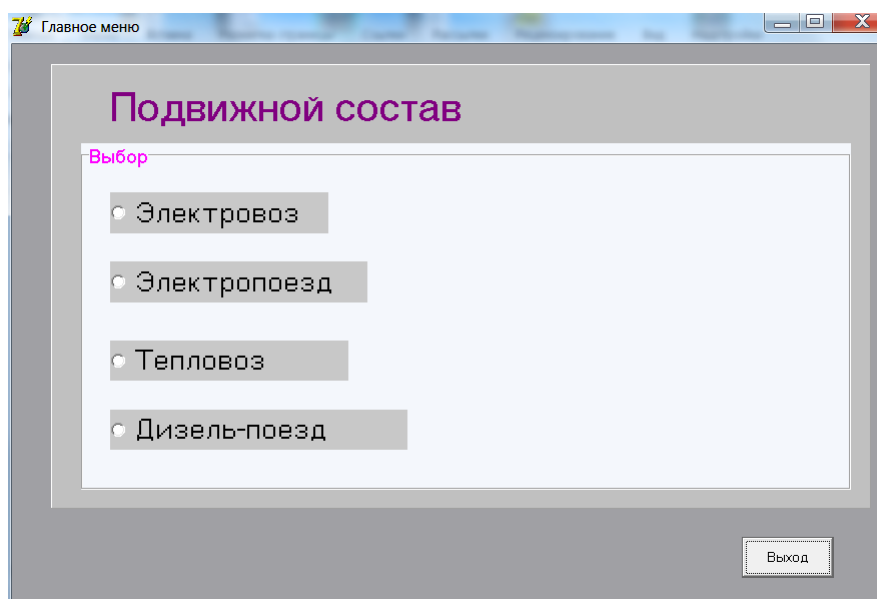


Рисунок 4.3 – Початкове діалогове вікно інтерфейсу програми

Обираємо тип рухомого складу (наприклад Електропоезд) Після цього активізується вікно «Исходные данные поезда ведомого электропоездом» (рис 4.4). У верхній частині вікна розташовані закладки в яких відбувається обрання параметрів складу, профілю шляху та параметрів контактної мережі.

Закладка «Электровоз» призначена для обрання параметрів локомотиву. У стовбцях наведені наступні основні параметри локомотиву: кількість секцій, кількість осей в секції, кількість тягових двигунів у секції, діаметр колеса локомотива у метрах, довжина локомотива у метрах та маса локомотива в тонах (рис. 4.5 та 4.6). Для зручності використання програми варіанти параметрів локомотивів введено до бази даних програми.

Исходные данные поезда ведомого электровозом

Электровоза | Тягового ЭД | **Состава** | Тяговой сети | Профиля пути | Коэффициенты

Количество участков	Длина 1-го участка	Уклон 1-го участка	Радиус кривой 1 участка	Длина кривой 1 участка
20	800	0	0	0
11	1400	0	0	0
16	1900	0	0	0
19	200	0	0	0
18	800	0	0	0
16	1200	0	0	0
17	400	0	0	0

Укажите номер варианта:

Укажите номер поезда (от 1 до 6)  
 Четные поезда одного направления, нечетные обратного направления  
 Производится ввод данных поезда №   
 Укажите тип поезда (груз. пасс. эл-по.)

Время задержки отправления:    
 Начальная скорость, м/с:    
 Конечная скорость, м/с:

Показать

Рисунок 4.4 – Вхідні данні составу

Электровоза | Тягового ЭД | **Состава** | Тяговой сети | Профиля пути | Коэффициенты

Количество секций	Количество осей в секции	Количество ТД в секции	Диаметр колеса локомотива	Длин
1	4	4	1.25	
2	4	4	0.95	
2	6	6	0.95	
5	4	4	1.05	
2	4	4	0.95	
2	4	4	1.01	

Рисунок 4.5 – Вхідні данні локомотиву (початок)

Электровоза | Тягового ЭД | **Состава** | Тяговой сети | Профиля пути | Коэффициенты

Количество ТД в секции	Диаметр колеса локомотива	Длина локомотива [м]	Масса локомотива [т]
4	1.25	18	100
4	0.95	36	160
6	0.95	36	200
4	1.05	25	200
4	0.95	36	64
4	1.01	34	120

Рисунок 4.6 – Вхідні данні локомотиву (закінчення)

Ці варіанти можливо обрати застосовуючи поле під закладками, яке обирає рядок з номером варіанту (рис. 4.7). Якщо потрібно додати нові параметри до бази даних це можливо зробити у нижньому рядку варіантів. Таким чином додається ще один варіант завдання параметрів локомотиву.





Рисунок 4.7 – Поле обрання номера варіанту параметрів локомотиву

Для обрання типу тягового двигуна використовується закладка «Тягового ЭД». Її складові наведені на рис. 3.8, 3.9 та 3.10: номінальні лінійна напруга, В; номінальний фазний струм, А; номінальна потужність, Вт; номінальна частота живлення, Гц; активний опір обмотки статора, Ом; активний приведений опір обмотки ротору, Ом; індуктивний опір обмотки статора, Ом; індуктивний приведений опір обмотки ротору, Ом; індуктивний опір контуру намагнічування, Ом; номінальний момент двигуна, Н·м; а також передавальне відношення тягового приводу. Введення додаткових параметрів двигунів та використання вже введених до бази здійснюється аналогічно попередньому режиму редагування параметрів локомотиву.

Электровоза Тягового ЭД   Состава   Тяговой сети   Профиля пути   Коэффициенты					
	Ном. линейное напряжение	Ном. фазный ток	Ном. мощность АД	Ном. частота питания АД	Актив. сопро
▶	2340	141	500000		58
	1868	218	500000		50
	1150	130	240000		33.9
	800	302.43	350000		41.102

Рисунок 4.8 – Параметри тягового двигуна (початок)

Электровоза Тягового ЭД   Состава   Тяговой сети   Профиля пути   Коэффициенты					
	Актив. сопро. статора	Акт. привед. сопро. рото	Инд. сопро. статора	Инд. привед. сопро. рото	Инд. сд
▶	0.118	0.05643	0.744	0.541	
	0.0677	0.0645	0.534	0.4332	
	0.105	0.094	0.702	0.6	
	0.067	0.017636819	0.1287	0.27110355	

Рисунок 4.9 – Параметри тягового двигуна (продовження)

Электровоза Тягового ЭД   Состава   Тяговой сети   Профиля пути   Коэффициенты					
	Инд. привед. сопро. рото	Инд. сопро. контура нама	Ном. момент АД	Передат. отнош. редуктор	
▶	0.541	30	2770	4.8309	
	0.4332	3.5	4835	3.92	
	0.6	3.12	2315	2.26	
	0.27110355	4.55	4024	2.61	

Рисунок 4.10 – Параметри тягового двигуна (закінчення)

Вибір складу потяга здійснюється за допомогою вкладки «Состав». В ній містяться наступні поля (див. рис. 4.11 та 4.12): загальна кількість вагонів, кількість 4-х вісних вагонів, кількість 8-ми вісних вагонів, довжина 4-х вісних вагонів, довжина 8-ми вісних вагонів, маса складу та допустиме прискорення руху.

Общее количество вагонов	Количество 4-осных вагонов	Количество 8-осных вагонов	Длина 4-осных вагонов
7	7	0	
45	45	0	
50	45	5	
35	20	15	
30	20	10	
22	22	0	
20	20	0	

Рисунок 4.11 – Параметри потягу (початок)

Длина 4-осных вагонов, м	Длина 8-осных вагонов, м	Масса состава, т	Доп. ускорение, м/с <sup>2</sup>
17	18	399	0.5
17	18	3200	0.2
17	18	2200	0.2
17	18	2400	0.2
20	18	2600	0.2
20	16	1320	0.2
20	16	1200	0.2

Рисунок 4.12 – Параметри потягу (закінчення)

Параметри тягової мережі обираються за допомогою вкладки «Тяговая сеть», що складається з наступних полів (див. рис. 4.13 та 4.14): кількість колій; тип живлення (1 – однобічний, 2 – двобічний); відстань до посту секціонування, м; питомий активний опір контактної мережі, Ом; питомий індуктивний опір контактної мережі, Ом; питомий активний опір рейкової мережі, Ом; питомий індуктивний опір рейкової мережі, Ом.

Количество путей	1- или 2-стороннее питание	Расстояние до поста секц.	Руд. контактной сети	Худ. контак
2	2	10000	4E-5	
2	2	11000	0.000139	
2	2	10000	0.000158	

Рисунок 4.13 – Параметри тягової мережі (початок)

Руд контактной сети	Худ контактной сети	Руд рельсовой сети	Худ рельсовой сети
4E-5	0.000414	2E-5	0.000136
0.000139	0.000422	5.5E-5	0.000138
0.000158	0.000468	6.2E-5	0.000142

Рисунок 4.14 – Параметры тяговой сети (закінчення)

Вибір профілю шляху здійснюється за допомогою вкладки «Профиль пути». Вона складається з поля, що визначає кількість ділянок шляху (див. рис. 4.15 та 4.16) та полів, що визначають параметри кожної окремої ділянки: довжина ділянки, м; ухил, %; радіус та довжина кривої, м.

Количество участков	Длина 1-го участка	Уклон 1-го участка	Радиус кривой 1 участка	Длина кривой 1 участка
20	800	0	0	0
11	1400	0	0	0
16	1900	0	0	0
19	200	0	0	0
18	800	0	0	0
16	1200	0	0	0
17	400	0	0	0

Рисунок 4.15 – Параметры профілю шляху (початок)

Скорость 1 участка	Скорость 1 уч. обратная	Длина 2-го участка	Уклон 2-го участка	Радиус кривой 2 участка	Длина кривой 2 участка
50	40	1200	3		
60	60	2500	4.6		
80	40	1300	8.1		
50	40	500	1.1		
50	40	500	3		
50	40	800	-2.4		378
50	40	600	2.2		

Рисунок 4.16 – Параметры профілю шляху (закінчення)

Введення додаткових параметрів двигунів, складу поїзду, тягової мережі і профілю шляху, а також користування вже введеними в базу параметрами здійснюється аналогічно режиму редагування параметрів локомотиву.

Вкладка «Коэффициенты» містить додаткові параметри для розрахунків та параметри налаштування програми (див. рис. 4.17, 4.18 та 4.19): ККД тягового двигуна у номінальному режимі, в.о.; коефіцієнт потужності двигуна, в.о.; число пар полюсів двигуна, число витків у фазі

обмотки статора, розрахунковий діаметр статора, м; довжина пакету статора, м; число пазів статора; ширина коронки зубу статора, м; зазор між статором і ротором, м; число фаз двигуна; номінальна частота струму ротора, Гц.

Козф. полезного действия	Козф. мощности двигателя	Число пар полюсов	Число витков фазы	Диаметр
0.956	0.91	2	36	
0.9	0.987	3	96	
0.93	0.98	2	96	
0.9665	0.9847	3	48	

Рисунок 4.17 – Додаткові параметри для вирішення тягової задачі (початок)

Диаметр статора расчет, м	Длина статора расчет, м	Число пазов статора	Ширина коронки зубца, м	Рабс
0.65	0.465	108	0.01	
0.51	0.23	72	0.0104	
0.4	0.3	72	0.0174	
0.51	0.522	72	0.014088	

Рисунок 4.18 – Додаткові параметри для вирішення тягової задачі (продовження)

Ширина коронки зубца, м	Рабочий зазор, мм	Число фаз двигателя	Ном. частота тока ротора
0.01	2	3	0.548
0.0104	1	3	0.549
0.0174	1.5	3	0.846
0.014088	2	3	0.45

Рисунок 4.19 – Додаткові параметри для вирішення тягової задачі (закінчення)

Після введення кожної групи параметрів необхідно натискати кнопку «ОК», при цьому відбувається запис введених параметрів до бази даних.

Для вибору поточного потягу необхідно вибрати номер потягу у вікні, що наведено на рис. 4.20. Слід пам'ятати, що непарні потяги здійснюють рух по першій колії, а парні по другій, тому при обранні одноколійного шляху вводиться лише потяги з непарними номерами.

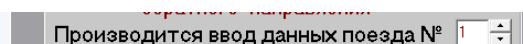


Рисунок 4.20 – Вибір номеру потягу для редагування.

Параметри усіх потягів, за виключенням першого, відрізняються лише тим, що для редагування доступні лише вкладки «Электровоза», «Тягового ЭД» та «Состава» (рис. 4.21) тому, що вони можуть містити данні потягів які відрізняються. Вкладка «Коэффициенты» містить додаткові параметри для розрахунків та параметри налаштування програми. Вони при дипломному проектуванні не змінюються.

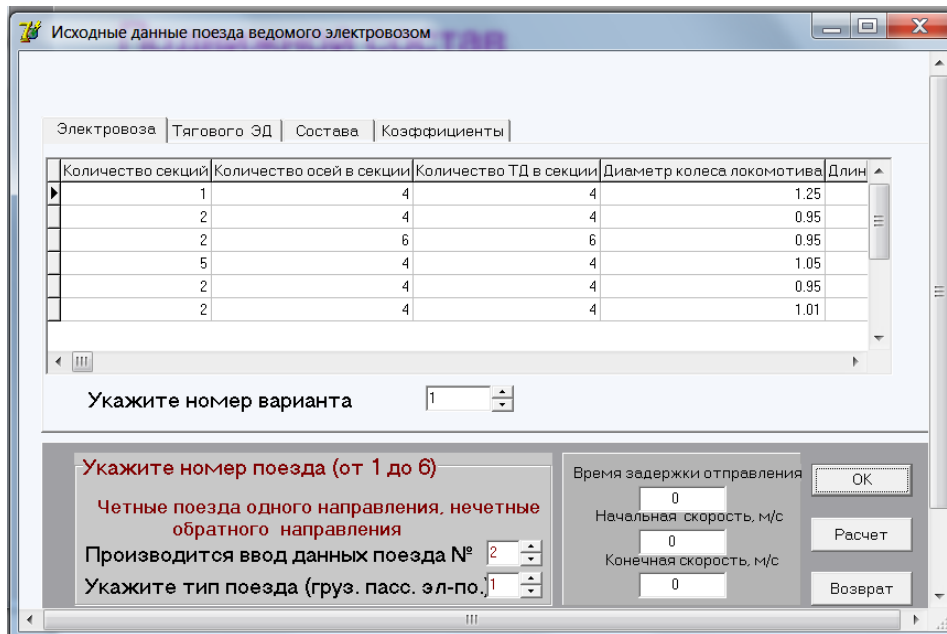


Рисунок 4.21 – Редагування параметрів 2-го та наступних потягів.

При введенні до бази параметрів кожного наступного потягу здійснюється обрання параметрів графіку руху (див. рис. 4.22): час затримки відправлення потягу відносно першого, с; початкова та кінцева швидкість руху потягу, км/год.

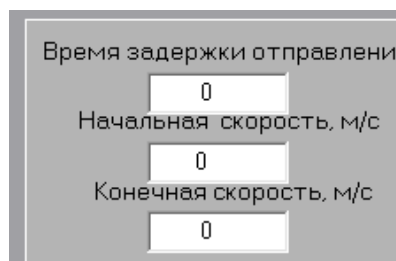


Рисунок 4.22 – Введення графіку руху потягів

При обранні номеру потягу як вказано на рис. 4.20 є можливість повернутися до редагування параметрів потягу, шляху та графіку руху, здійснюючи це за правилами, що викладені вище.

Для запуску тягового розрахунку необхідно натиснути кнопку «Расчет». Після чого активується вікно «Расчет кривых движения», що наведено на рис. 4.23.

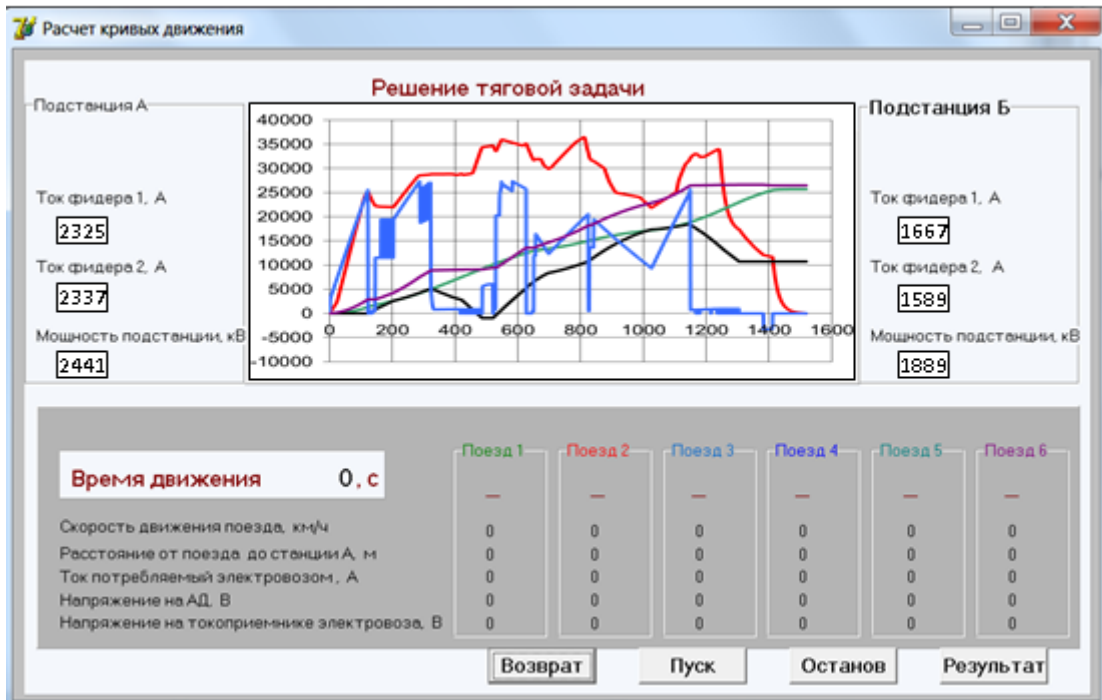


Рисунок 4.23 – Розрахунок кривих руху потяга.

Вікно складається з наступних складових:

- у верхній частині відображаються результати вирішення тягової задачі для першого потягу (по центру), параметри струмів тягових підстанцій (А – ліворуч, Б – праворуч);

- у середній частині наводяться параметри руху потягу (швидкість руху, км/год; відстань від підстанції А, м, загальний струм електрорухомого складу, А; лінійна напруга на тяговому двигуні, В; напруга на струмоприймачі електрорухомого складу, А) які змінюються у реальному часі для потягів, рух яких розраховується;

– по низу вікна розташовані кнопки для керування процесом розрахунку: «Возврат» – повертає користувача у вікно «Исходные данные поезда ведомого электровозом», «Пуск» – запускає процес розрахунку тягової задачі, «Останов» – включає режим паузи при розрахунку тягової задачі, який дозволяє проаналізувати поточні значення та режими роботи тягового приводу та «Результат» – дозволяє відкрити файл з результатами вирішення тягової задачі.

Результати розрахунків записуються у файли DanRas.xls и OsnParm.txt. У першому з них наводяться результати вирішення тягової задачі у форматі електронної таблиці Excel. У стовпчиках наведені наступні дані:

- час, с;
- швидкість першого потягу, км/год ;
- пройдений шлях першого потягу, м;
- профіль шляху, м;
- фазний струм тягового двигуна першого електровозу або електропоїзду, А;
- лінійна напруга статора тягового двигуна першого електровозу або електропоїзду, В;
- споживання електроенергії першого електровозу або електропоїзду, кВт год.

У наступних стовпчиках наводяться данні про другий та наступні потяги (6 стовпчиків на один потяг). Далі наводяться струми тягової мережі:

- фідера 1 підстанції А, А;
- фідера 2 підстанції А, А;
- підстанції А, А;
- фідера 1 підстанції Б, А;

- фідера 2 підстанції Б, А;
- підстанції Б, А.

У наступних стовпчиках наведені втрати напруги на струмоприймачах електровозів або електропоїздів, В (їх кількість дорівнює кількості потягів). Подальші стовпчики: струм поста секціонування, А, втрати потужності у контактній мережі, кВт.

У текстовому файлі OsnParm.txt містяться загальні дані про тягову мережу та тягову підстанцію: середнє, діюче та максимальне значення струму підстанцій, максимальне значення струмів фідерів, А; та потужність на тягу підстанцій, кВт.

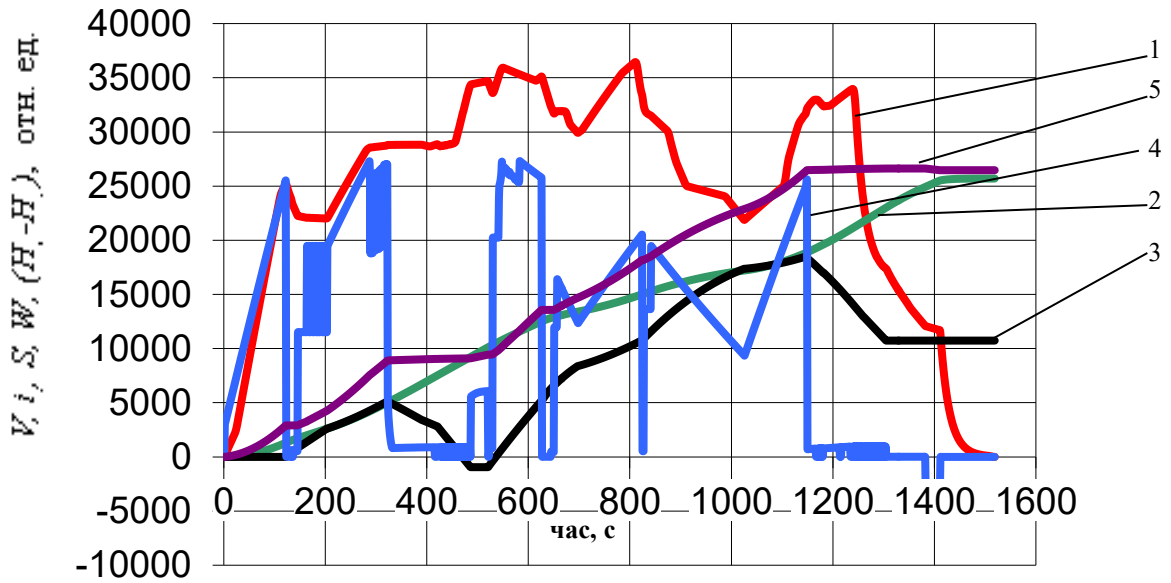
### **4.3. Результати вирішення тягової задачі та їх аналіз**

Результати вирішення тягової задачі подані у вигляді графіків на рис. 3.24, де наведені швидкість поїзда  $V$ , пройдений поїздом шлях  $S$ , споживаний електровозом струм  $i$ , витрата енергії на рух поїзда  $W$  і профіль колії, представлений як різниця висот між точкою відправлення і поточним положенням поїзда на перегоні Б - А. Швидкість руху потяга значною мірою визначається заданою швидкістю руху на кожній з ділянок шляху. Однак, завдяки інерційності механічної системи потягу вона не може змінюватись миттєво, тому монотонно зростає та знижується в залежності від графіку руху потягу.

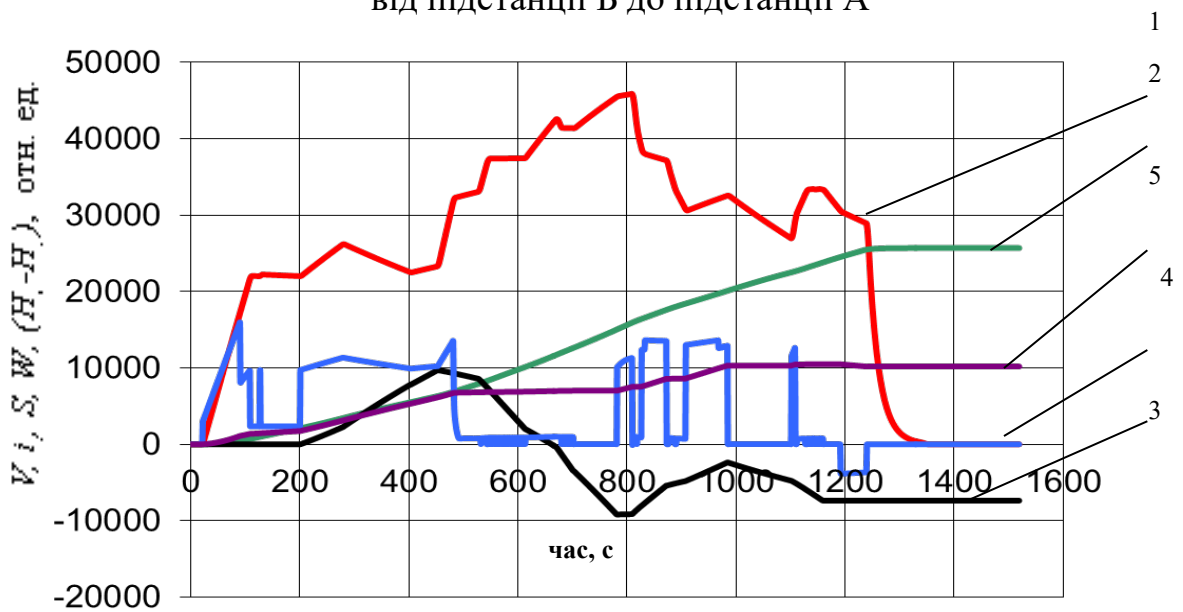
При розрахунках режимів споживання струму електрорухомим складом в даній програмі не враховані витрати на власні потреби. Тому студенти повинні враховувати, що до отриманих при вирішенні тягової задачі результатів повинно додати данні про витрати власних потреб електрорухомого складу. Ці втрати не перебільшують, в більшості випадків, 10% втрат на тягу, тому при дипломному проектуванні ними можна знехтувати.



Результат рішення тягової задачі при русі поїзда  
від підстанції А до підстанції Б



Результат рішення тягової задачі при русі поїзда  
від підстанції Б до підстанції А



1 – швидкість·400, км/год; 2 – шлях·5, м; 3 – профіль колії, м; 4 – струм електровоза·10, А; 5 – витрата енергії·20,кВт·год

Рисунок 4.24 – Криві руху поїзда

Роботі тягового приводу електрорухомого складу притаманні наступні характерні режими.

Режим тяги. Цей режим роботи приводу реалізується двома найбільш характерними шляхами його керування:

– розгін потяга; лінійна напруга двигуна зростає пропорційно швидкості руху, реалізується режим роботи тягового двигуна при приблизно постійному моменті на валу, що відповідає приблизно постійному значенні сили тяги; струм електрорухомого складу та швидкість руху монотонно зростають;

– підтримання постійної швидкості руху; лінійна напруга тягового двигуна стабілізована; реалізується режим роботи тягового двигуна близький до режиму постійної потужності; сила струму електрорухомого складу приблизно постійна.

Сила струму в режимі тяги завжди додатна. При великих підйомах та (або) на великих швидкостях руху можливе явище, коли при реалізації режиму тяги з підтриманням постійної швидкості швидкість трохи знижується. Це обумовлено обмеженням потужності тягового приводу.

Режим рекуперативного гальмування. Швидкість потягу знижується. Цей режим реалізується шляхом перевodu тягового приводу в генераторний режим. Сила струму електрорухомого складу від'ємна. При зниженні швидкості руху знижується напруга тягового двигуна, який працює у генераторному режимі. Задля перетікання енергії від двигуна до контактної мережі тяговий перетворювач повинен підвищувати напругу на струмоприймачі, роблячи її вищою за напругу контактної мережі. Однак його можливості по підвищенню напруги обмежені. Тому обмежена швидкість, до якій може проводитись рекуперативне гальмування. Для більшості сучасних типів електрорухомого складу це обмеження становить 20-40 км/год.

Режим зупиночного (пневматичного або електропневматичного) гальмування. Швидкість при ньому знижується до нуля. Тяговий привод у цьому режимі відключено, тому струм електрорухомого складу дорівнює нулю.

Режим вибігу. Тяговий двигун відключено. Швидкість монотонно знижується. Однак сповільнення рухомого складу значно нижче ніж в режимі гальмування. Струм дорівнює нулю.

Крива залежності пройденого шляху являє собою монотонно зростаючу пряму. Швидкість наростання цієї кривої визначається поточною швидкістю поїзда.

Споживання енергії електрорухомим складом залежить, в першу чергу, від величини струму. Якщо струм додатний то споживання енергії зростає (режими тяги), якщо від'ємний - знижується (режим рекуперативного гальмування). В режимах вибігу та зупиночного гальмування воно не змінюється.

### **Контрольні запитання**

1. Якою є структура програм комплексу?
2. У якій послідовності ведеться робота із програмно-алгоритмічним комплексом?
3. У якому вигляді подано результати вирішення тягової задачі?
4. Охарактеризуйте характер змін струм електровозу.
5. Охарактеризуйте характер зміни швидкості поїзду.

## 5. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ І ПІДСТАНЦІЇ

### 5.1. Опис програми PodTyag

Програма PodTyag формує графіки руху поїздів при їх відправленні від підстанцій А і Б, які потім використовуються для розрахунків режимів роботи тягової мережі і тягових підстанцій програмою PodTyag. В якості вхідних даних використовуються розрахункові дані програми Potyag - час руху, пройдений потягом шлях і споживаний електровозом струм, а також час затримки відправлення поїздів, що введені користувачем за допомогою клавіатури.

Загальні принципи роботи програми. Для проведення розрахунку режимів роботи тягових підстанцій і тягової мережі необхідно, щоб відлік часу руху кожного з потягів здійснювався не від моменту відправлення кожного з них, а щодо відправлення першого поїзда, тобто потрібно звести їх рух до єдиної часової шкали.

Вихідними даними для створення єдиної часової шкали руху поїздів слугують результати розрахунку програми Potyag (поточний час руху і відповідні йому пройдений потягом шлях та спожитий електровозом струм) і задані користувачем часи затримок відправлення кожного з них.

Програма спочатку визначає розмір тимчасової шкали, тобто інтервал часу від відправлення першого потягу до прибуття на кінцеву станцію останнього потягу. Для цього визначається два найбільших значення часу руху потягу: максимальна затримка відправлення потягу  $MaxZadA$  плюс час руху потягу  $VremA$  від підстанції А та максимальна затримка відправлення  $MaxZadB$  плюс час руху поїзда  $VremB$  від підстанції Б. Найбільше з них і визначить розмір єдиної часової шкали  $Vrem$  руху поїздів.

Графік руху поїздів складається з наступних інтервалів часу:

- Затримки відправлення, відлік часу здійснюється посекундно від нуля до часу затримки, при цьому споживаний електровозом струм і пройдена потягом відстань дорівнюють нулю;

– Часу руху потягу по перегону, отриманий з вихідного файлу даних (RezPoezA.dat - при русі від підстанції А, RezPoezB.dat - при русі від Б) і відповідні цьому споживаний струм та відстань до підстанції А;

– Інтервалу часу від прибуття поїзда на кінцеву станцію до кінця тимчасової шкали, відлік часу здійснюється посекундно; споживаний електровозом струм обнуляється, а пройдений потягом шлях зберігається незмінним і рівним відстані між підстанціями.

Запуск програми **PodTyag** можна здійснювати як самостійно, так і з програми **Potyag** автоматично.

**Склад програми та опис її структури (табл. 5.1).**

Програма **PodTyag** містить 2 процедури.

Процедура **Okno1** призначена для створення вікна відображення результатів розрахунків і запитів до користувача. Процедура аналогічна процедурі **Okno1** програми **Potyag**. Процедура **Okno2** призначена для відображення підказок користувачу при роботі з програмою і також аналогічна процедурі **Okno2** програми **Potyag**.

Таблиця 5.1 – Структура програми

Елементи алгоритму	Виконувані дії
1	2
1 – 2	Встановлення вихідних даних.
3 – 6	Введення з клавіатури часів затримок відправлення поїздів відносно першого.

Продовження таблиці 5.1

1	2
7	Встановлення початкового значення максимальної затримки відправлення поїздів при їх русі від підстанцій А і Б.
8 – 12	Знаходження найбільшої затримки відправлення поїзда від підстанції А.
13 – 17	Знаходження найбільшої затримки відправлення поїзда від підстанції Б.
18 – 21	Відкриття файлу даних руху поїзда від підстанції А і читання з нього поточних значень часу руху поїзда, споживаного електровозом струму і пройденого поїздом шляху; закриття файлу даних.
22 – 25	Відкриття файлу даних руху поїзда від підстанції Б і читання з нього поточних значень часу руху поїзда, споживаного електровозом струму і пройденого поїздом шляху; закриття файлу даних.
26 – 28	Визначення розміру єдиної часової шкали руху поїздів.
29 – 42	Формування графіка руху 1 поїзда:
29–31 32–35 36–41 42	Відкриття файлу даних руху поїзда від підстанції А для читання і фізичного файлу <b>TokPoez1.dat</b> на перезапис; перезапис параметрів руху поїзда з файлу <b>FrePA</b> в файл <b>TokPoez1.dat</b> ; Заповнення тимчасової шкали даних споживаного струму електровоза від поточного часу руху поїзда до кінця нулями, а даних пройденого поїздом шляху величиною, рівною відстані між підстанціями; закриття файлу даних.

1	2
43 – 59: 43 44 45–48 49–52 53 54–58 59	Формування графіка руху 2 поїзда: відкриття файлу даних <b>TokPoez2.dat</b> на перезапис; встановлення лічильника часу на 1; перезапис в файл <b>TokPoez2.dat</b> обнулених даних струму електровоза і пройденого поїздом шляху протягом часу затримки відправлення 2 поїзда; перезапис параметрів руху поїзда з файлу <b>FrePA</b> в файл <b>FTokP2</b> ; закриття файлу даних; обнулення даних струму електровоза та заповнення даних пройденого поїздом шляху величиною, рівною відстані між підстанціями до кінця єдиної часової шкали; закриття файлу даних.
60 – 76	Формування графіка руху 3 поїзда; аналогічно формуванню графіка руху 2 поїзда, елементи алгоритму 43 - 59.
77 – 94	Формування графіка руху 4 поїзда; аналогічно формуванню графіка руху 2 поїзда, елементи алгоритму 43 - 59.
95 – 112	Формування графіка руху 5 поїзда; аналогічно формуванню графіка руху 2 поїзда, елементи алгоритму 43 - 59; в елементі 104 проводять інверсію пройденого шляху, тому що відстань для подальших розрахунків має визначатися від підстанції А до поточного положення поїзда; а зчитування даних руху здійснюється з файлу <b>FRePB</b> при русі поїзда від підстанції Б.
113–130	Формування графіка руху 6 поїзда. Аналогічно формуванню графіка руху 5 поїзда, елементи алгоритму 95 - 112.
131–149	Формування графіка руху 7 поїзда. Аналогічно формуванню графіка руху 5 поїзда, елементи алгоритму 95 - 112.

Блок-схема підпрограми **Podtyag** наведена на рис. 5.1.

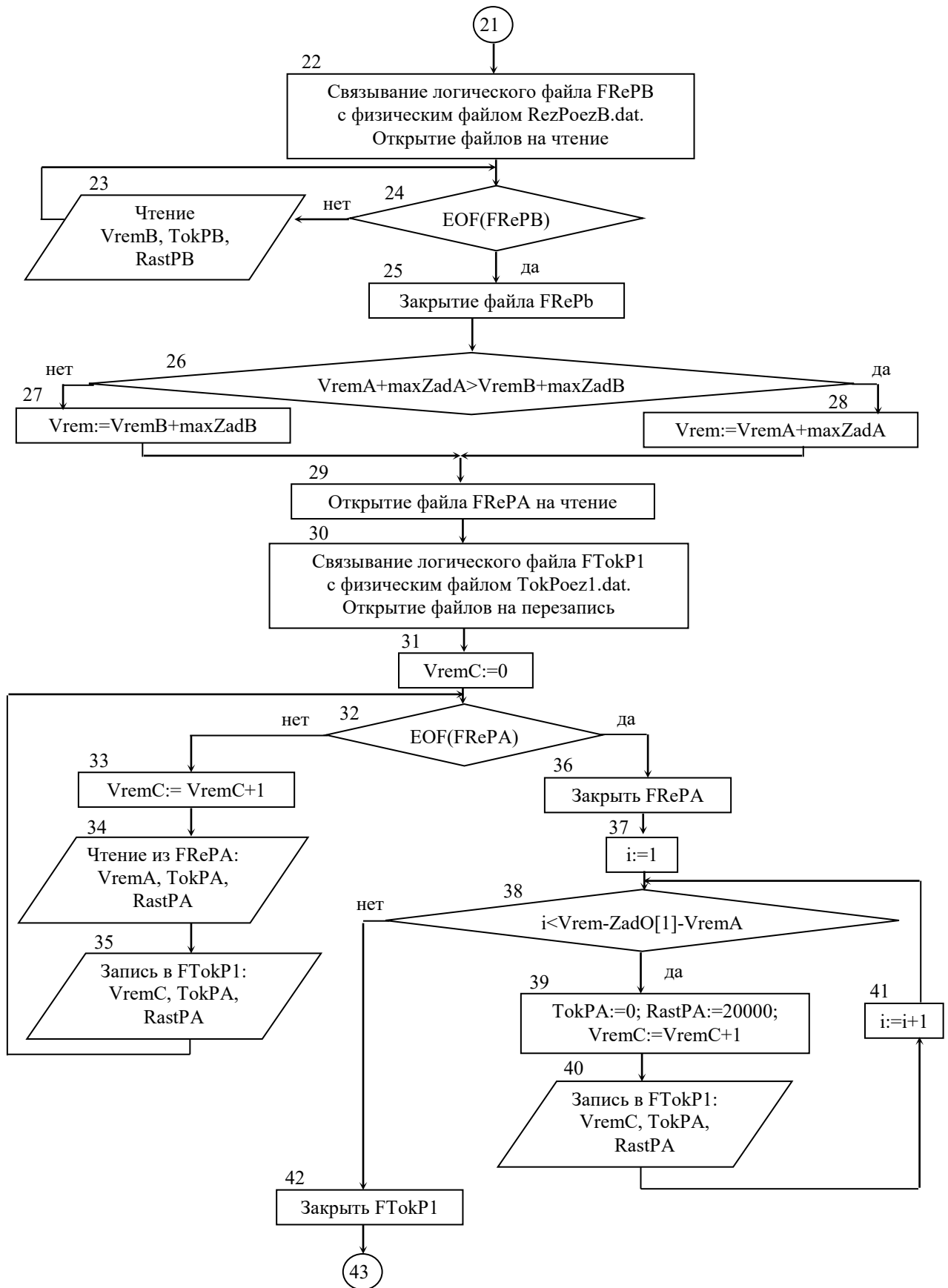


Рисунок 5.1 – Блок-схема программы Podtyag



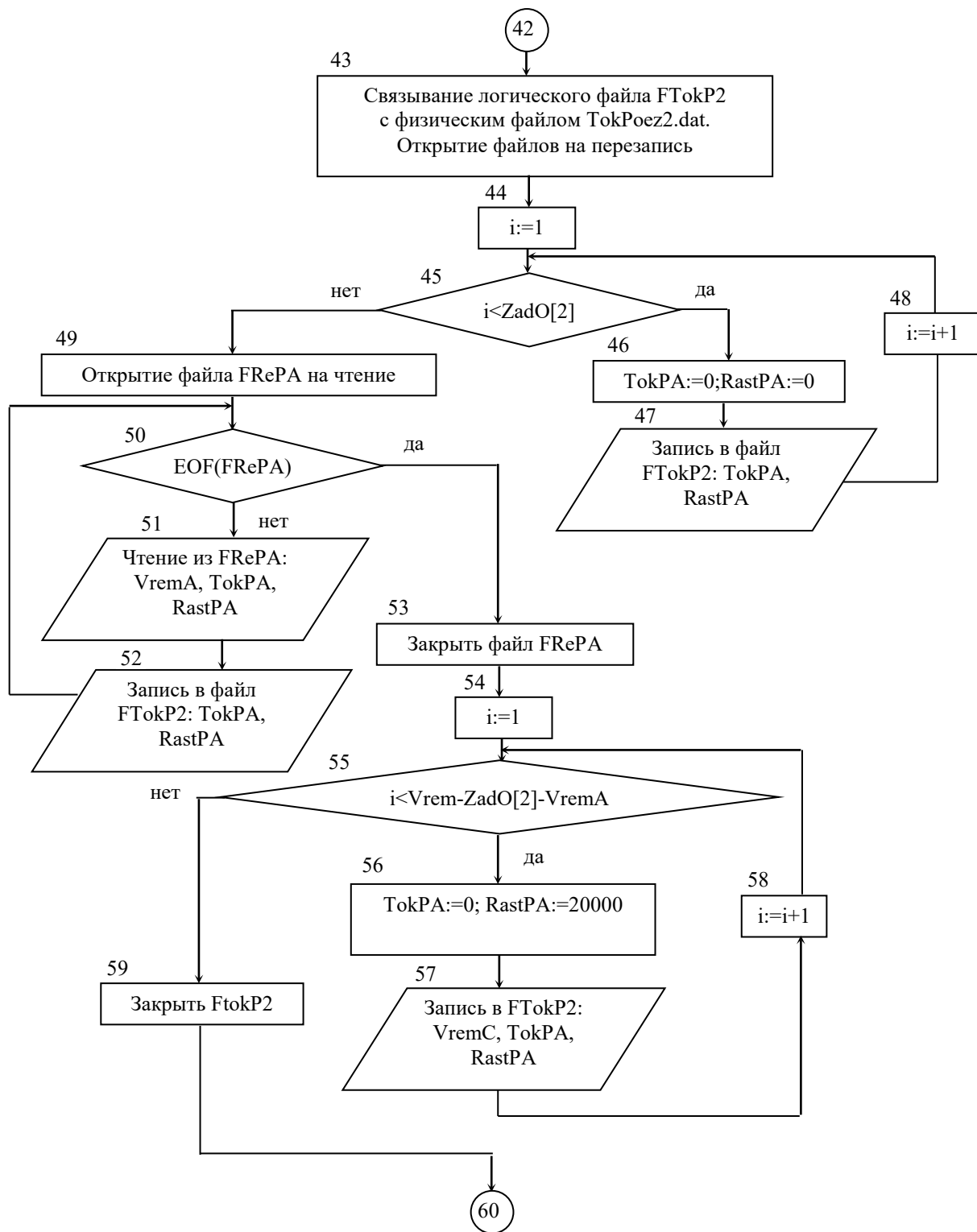


Рисунок 5.1 – Блок-схема программы Rodtyag (продовження)

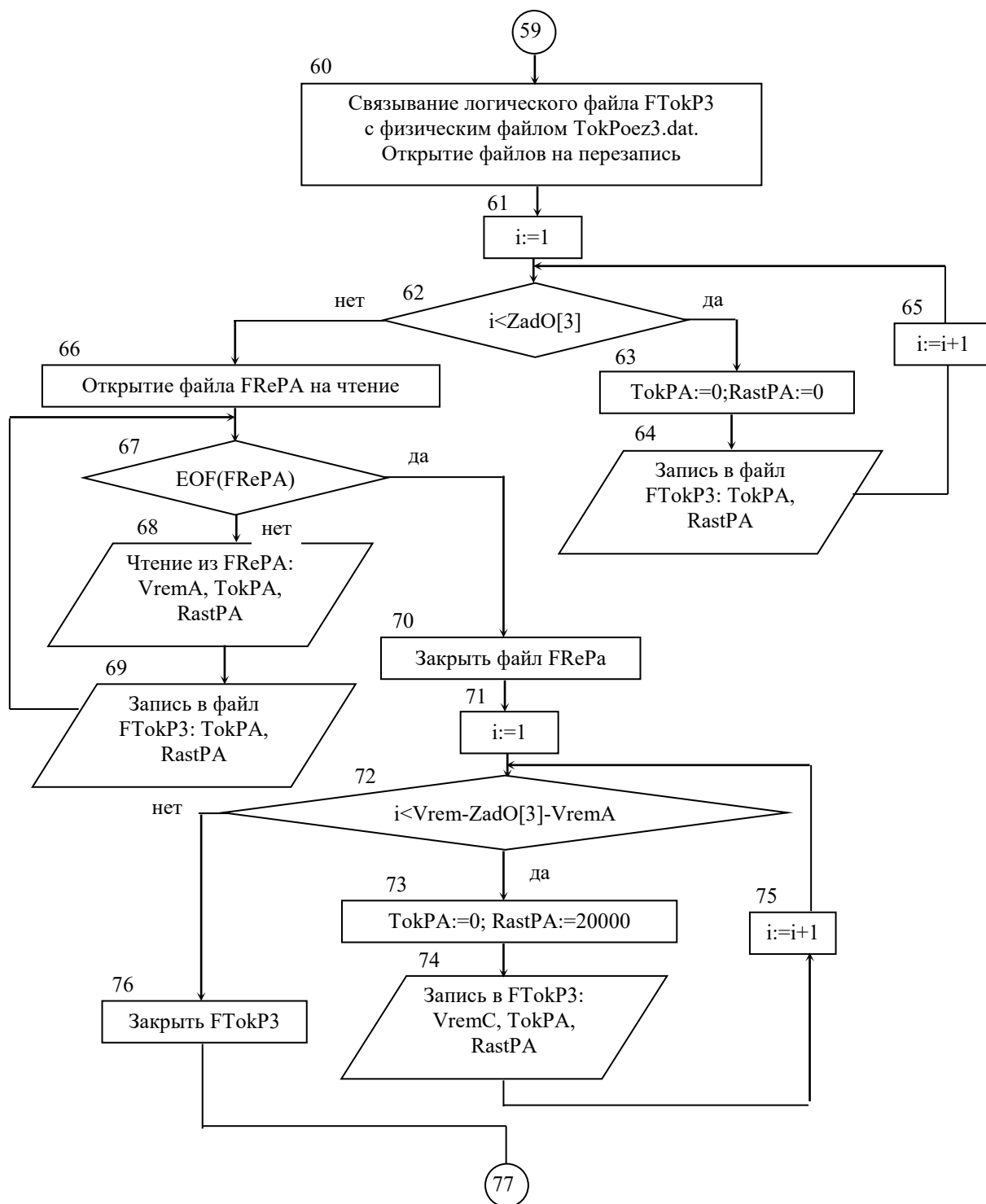


Рисунок 5.1 – Блок-схема программы Rodtyag (продовження)

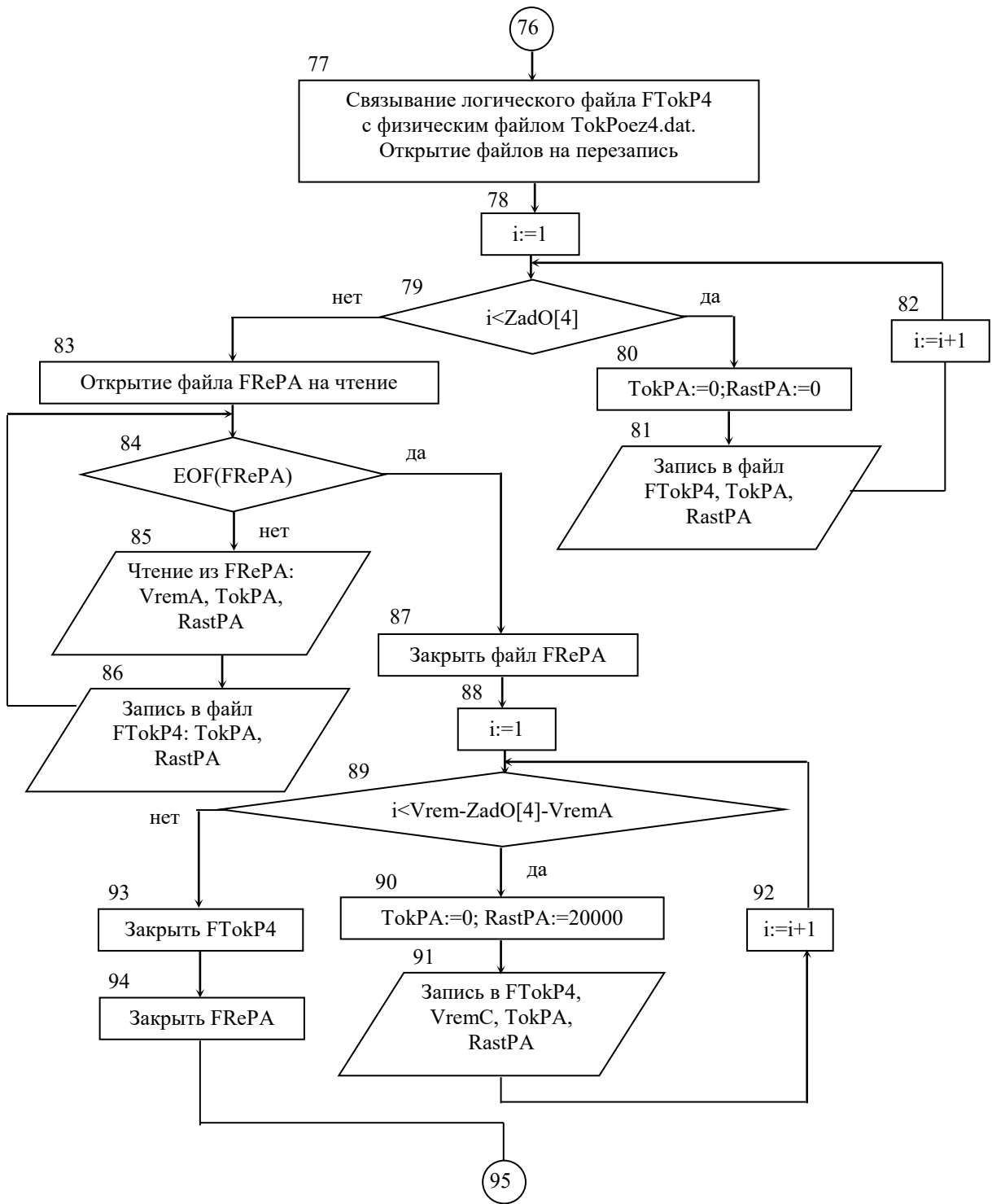


Рисунок 5.1 – Блок-схема програми Rodtug (продовження)

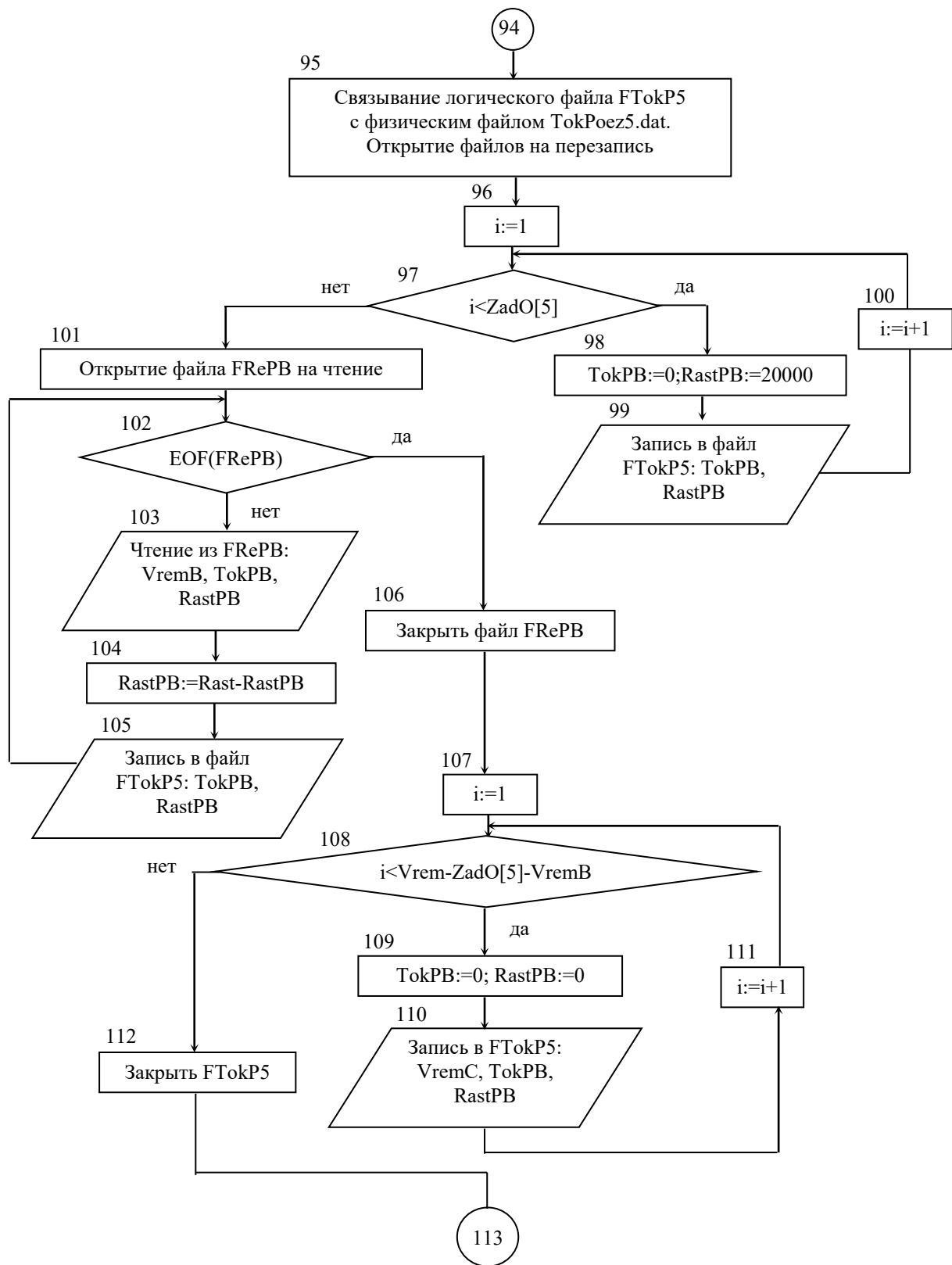


Рисунок 5.1 – Блок-схема программы Podtyag (продовження)

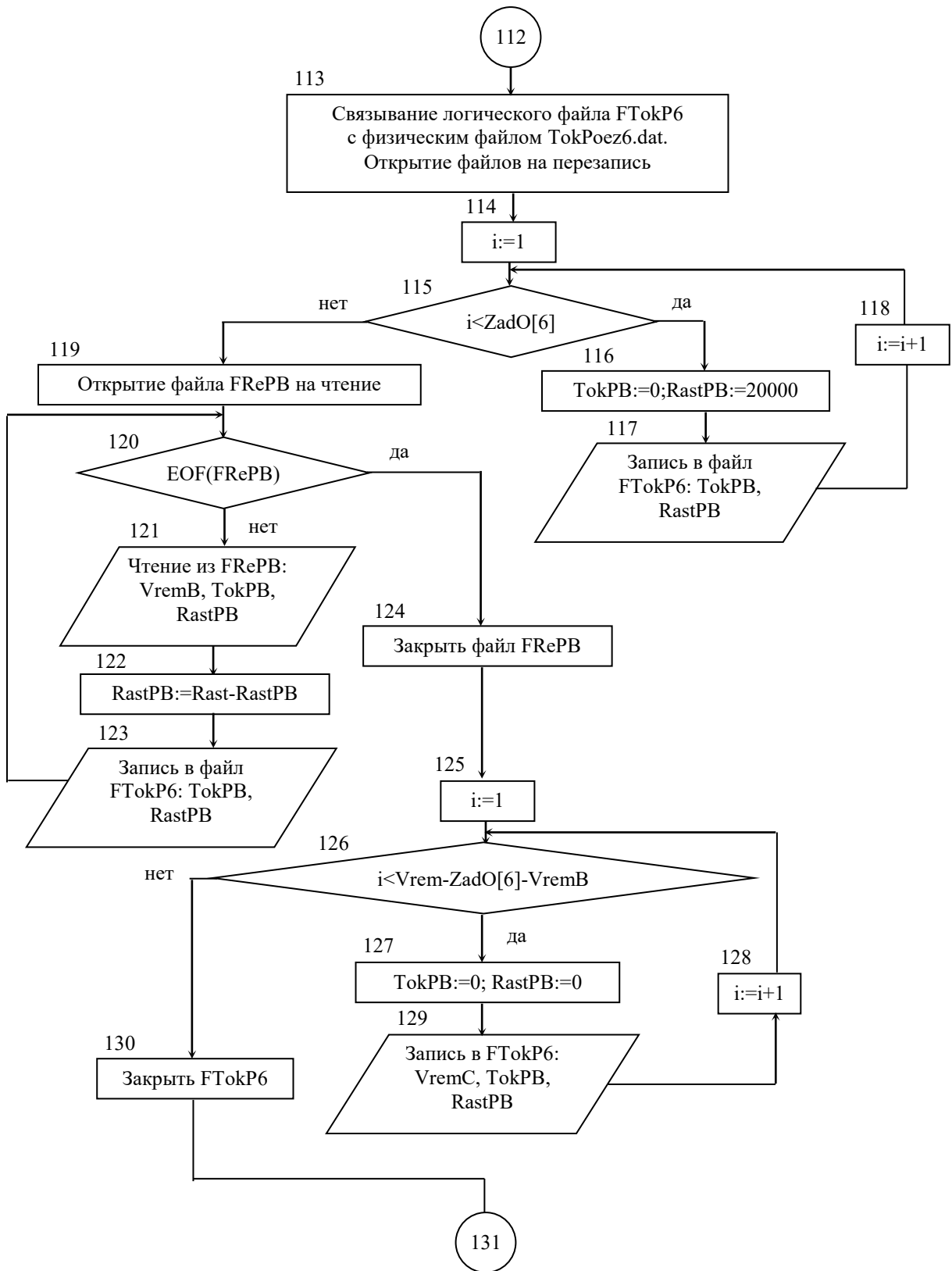


Рисунок 5.1 – Блок-схема программы Rodtyag (продовження)

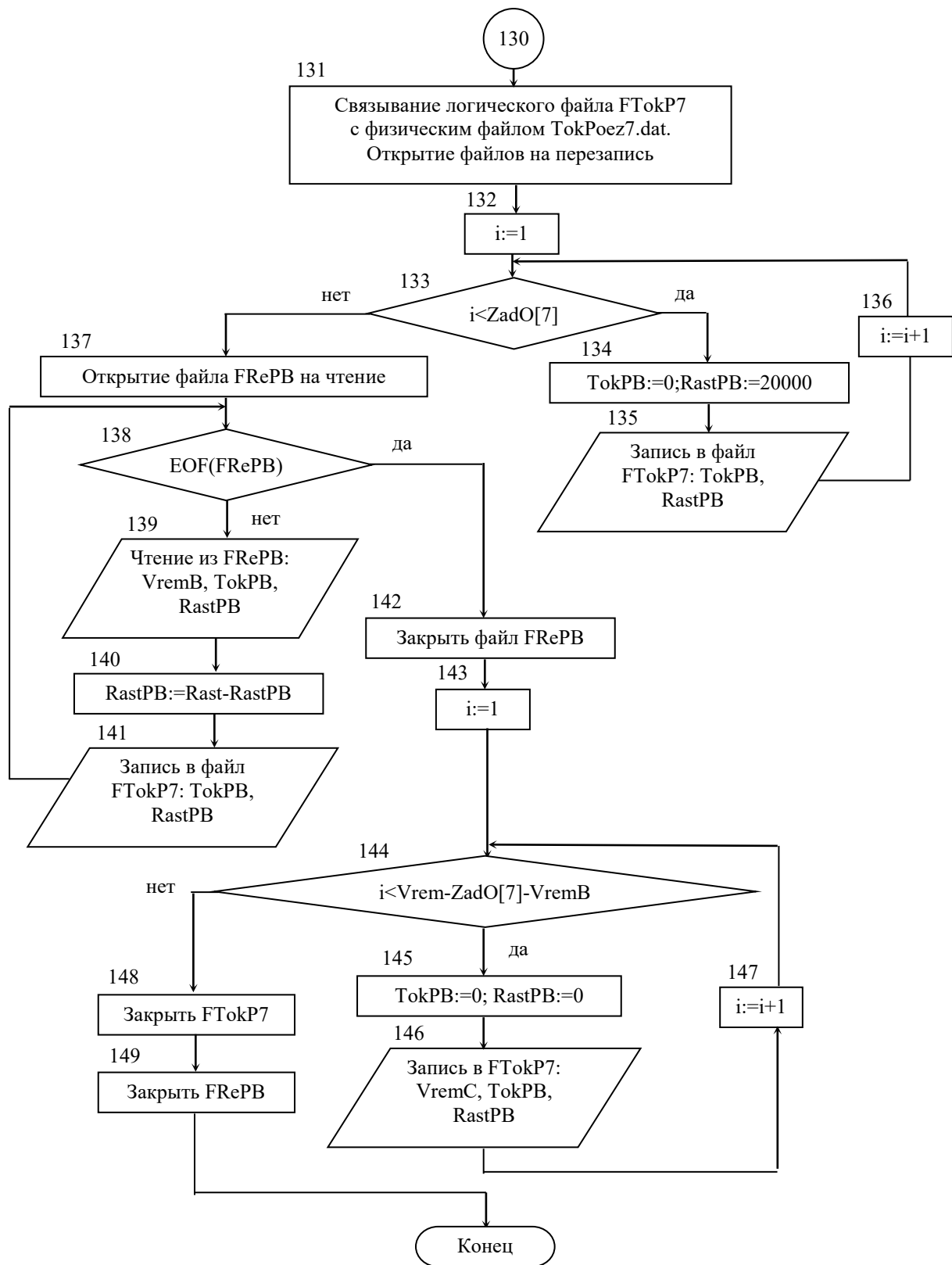


Рисунок 5.1 – Блок-схема программы Podtyag (закінчення)

## 5.2. Опис програми PodNap

Призначення програми. Програма PodNap здійснює розрахунок і запис на диск величин, що характеризують роботу тягової мережі і тягових підстанцій (струми фідерів підстанцій, струми підстанцій, середні струми підстанцій, діючі значення струмів підстанцій, потужність підстанцій, що йде на тягу поїздів, втрати напруги на струмоприймачах електровозів, втрати потужності в контактній, рейкової і тягової мережах) на основі проведеного рознесення струмів по підстанціях і з використанням графіків руху поїздів, отриманих за допомогою програми PodTyag.

Загальні принципи роботи програми. Робота програми повністю відповідає методиці розрахунків режимів роботи тягової мережі і тягових підстанцій, викладеної в розділі 3 [1].

Робота користувача з програмою обмежується введенням вихідних даних (відстані до поста секціонування та питомих опорів контактної та рейкової мережі). Запуск програми PodNap можна здійснити як самостійно, так і за допомогою запуску програми Potyag.

Склад програми та опис її структури (табл. 5.2). Програма PodNap містить 2 процедури.

Процедура **Okno1** призначена для створення вікна відображення результатів розрахунків і запитів до користувача. Процедура аналогічна процедурі **Okno1** програми **Potyag**. Процедура **Okno2** призначена для відображення підказок користувачу при роботі з програмою і також аналогічна процедурі **Okno2** програми **Potyag**.

Таблиця 5.2 – Структура програми

Елементи алгоритму	Виконувані дії
1	2
1	Введення вихідних даних - відстані до поста секціонування, питомих опорів контактної і рейкової мережі
2 – 4	Зв'язування фізичних і логічних файлів даних; відкриття файлів даних, що визначають рух поїздів для читання і вихідних файлів даних програми для перезапису.
5	Запуск циклу обробки даних. Читання з файлів даних програми поточного часу, відповідних йому струмів електровозів і пройдених поїздами відстаней.
6	Введення вихідних даних - відстані до поста секціонування, питомих опорів контактної і рейкової мережі
7 – 27:  7 – 9 10 – 12 13 – 15 15 – 18 19 – 21 22 – 24 25 – 27	Рознесення струмів електровозів, що здійснюють рух по перегону по підстанціях:  рознесення струму 1 електровоза; рознесення струму 2 електровоза; рознесення струму 3 електровози; рознесення струму 4 електровоза; рознесення струму 5 електровоза; рознесення струму 6 електровоза; рознесення струму 7 електровоза.
28	Визначення струмів фідерів підстанцій, струмів підстанцій, струму поста секціонування.



Продовження таблиці 5.2

1	2
<p>29 – 63:</p> <p>29 – 33</p> <p>34 – 38</p> <p>39 – 43</p> <p>44 – 48</p> <p>49 – 53</p> <p>54 – 58</p> <p>59 – 63</p>	<p>Розрахунок втрат напруги в контактній мережі на струмоприймачах електровозів:</p> <p>втрати напруги в контактній мережі на струмоприймачі 1 електровоза;</p> <p>втрати напруги в контактній мережі на струмоприймачі 2 електровоза;</p> <p>втрати напруги в контактній мережі на струмоприймачі 3 електровози;</p> <p>втрати напруги в контактній мережі на струмоприймачі 4 електровоза;</p> <p>втрати напруги в контактній мережі на струмоприймачі 5 електровоза;</p> <p>втрати напруги в контактній мережі на струмоприймачі 6 електровоза;</p> <p>втрати напруги в контактній мережі на струмоприймачі 7 електровоза.</p>
<p>64 – 84:</p> <p>64 – 66</p> <p>67 – 69</p> <p>70 – 72</p> <p>73 – 75</p> <p>76 – 78</p> <p>79 – 81</p> <p>82 – 84</p>	<p>Розрахунок втрат напруги в рейковій мережі від струмів електровозів, що здійснюють рух по поточній колії:</p> <p>розрахунок втрат напруги в рейковому колі до 1 електровоза;</p> <p>розрахунок втрат напруги в рейковому колі до 2 електровоза;</p> <p>розрахунок втрат напруги в рейковому колі до 3 електровоза;</p> <p>розрахунок втрат напруги в рейковому колі до 4 електровоза;</p> <p>розрахунок втрат напруги в рейковому колі до 5 електровоза;</p> <p>розрахунок втрат напруги в рейковому колі до 6 електровоза;</p> <p>розрахунок втрат напруги в рейковому колі до 7 електровоза.</p>

Продовження таблиці 5.2

1	2
85 – 153:	Розрахунок втрат напруги в рейковій мережі від струмів електровозів, що здійснюють рух по суміжних коліях:
85 – 93	розрахунок втрат напруги рейковій мережі до 1 електровоза;
94–102	розрахунок втрат напруги в рейковій мережі до 2 електровоза;
103–111	розрахунок втрат напруги в рейковій мережі до 3 електровоза;
112–120	розрахунок втрат напруги в рейковій мережі до 4 електровоза;
121–131	розрахунок втрат напруги в рейковій мережі до 5 електровоза;
132–142	розрахунок втрат напруги в рейковій мережі до 6 електровоза;
143–153	розрахунок втрат напруги в рейковій мережі до 7 електровоза.
154 – 169:	Розрахунок втрат напруги в мережі поста секціонування:
154–155	розрахунок втрат напруги в мережі поста секціонування від струмів 1 електровоза;
156–157	розрахунок втрат напруги в мережі поста секціонування від струмів 2 електровоза;
158–159	розрахунок втрат напруги в мережі поста секціонування від струмів 3 електровоза;

Закінчення таблиці 5.2

1	2
160–162	розрахунок втрат напруги в мережі поста секціонування від струмів 4 електровоза;
163–164	розрахунок втрат напруги в мережі поста секціонування від струмів 5 електровоза;
165–166	розрахунок втрат напруги в мережі поста секціонування від струмів 6 електровоза;
167–169	розрахунок втрат напруги в мережі поста секціонування від струмів 7 електровоза.
170	Розрахунок загальних втрат напруги в рейковій мережі до кожного з електровозів; втрат напруги в тяговій мережі на струмоприймачах електровозів; втрат потужності до струмоприймачів електровозів; потужності тягових підстанцій, що йдуть на тягу; миттєвого значення сумарного струму підстанцій і сумарного струму всіх електровозів, здійснюють рух по перегону.
171 – 173	Запис у файли розрахункових даних.
174	Затримка, необхідна для узгодження роботи процесора і дисководу комп'ютера.
175	Закриття файлів даних.

**Блок-схема підпрограми PodNap** наведена на рисунку 5.2.

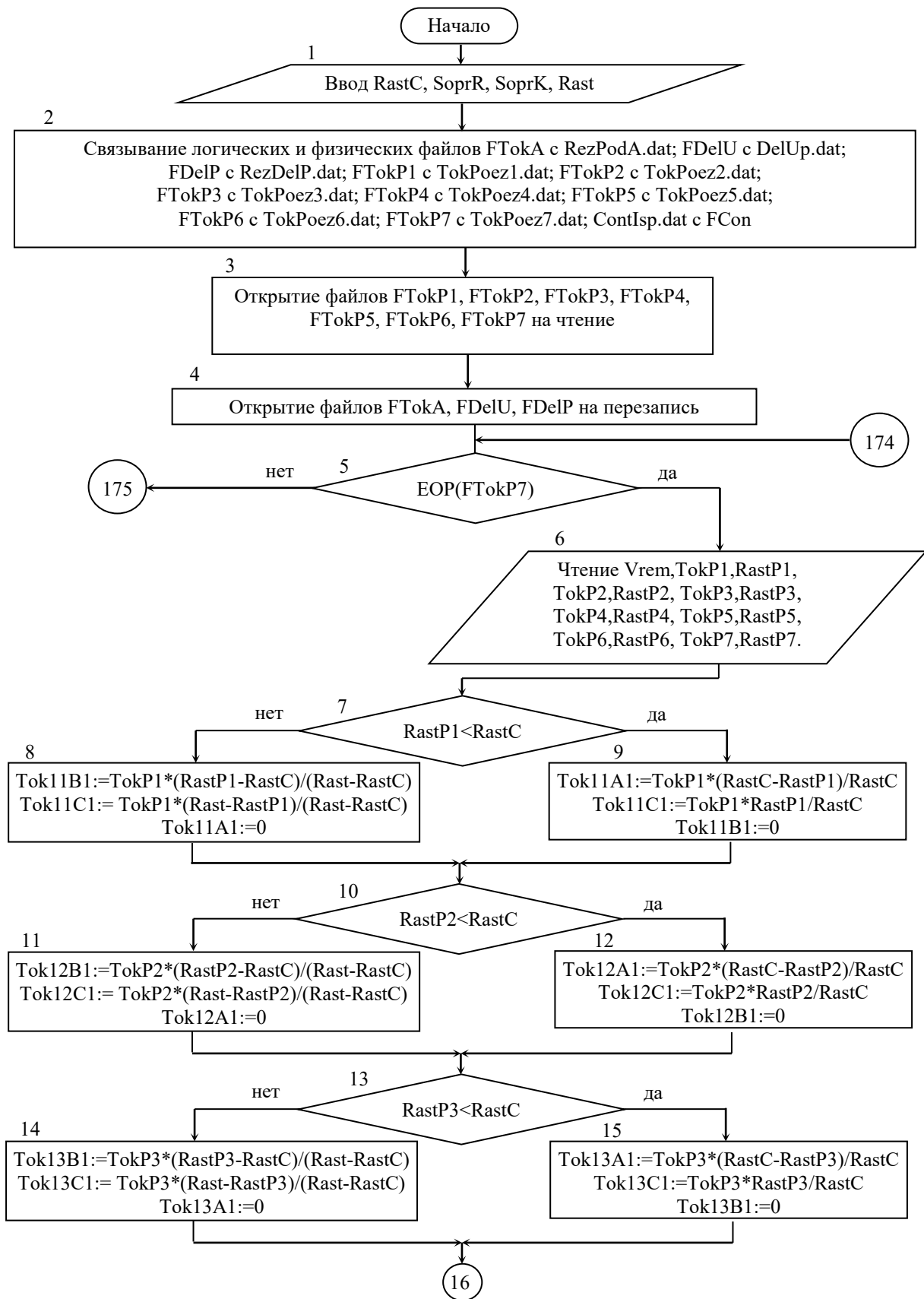


Рисунок 5.2 – Блок-схема программы PodNap

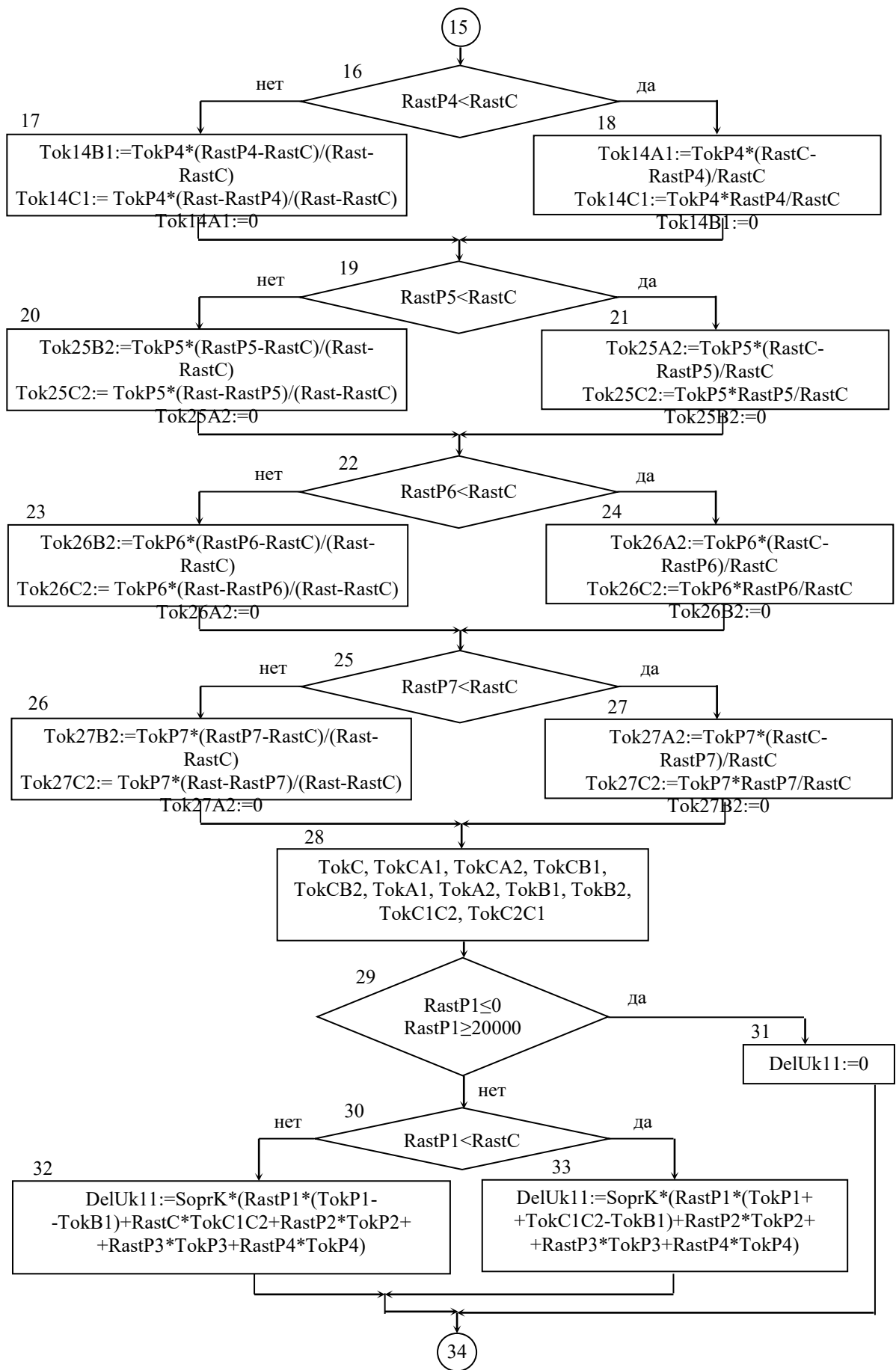


Рисунок 5.2 – Блок-схема програми PodNap (продовження)

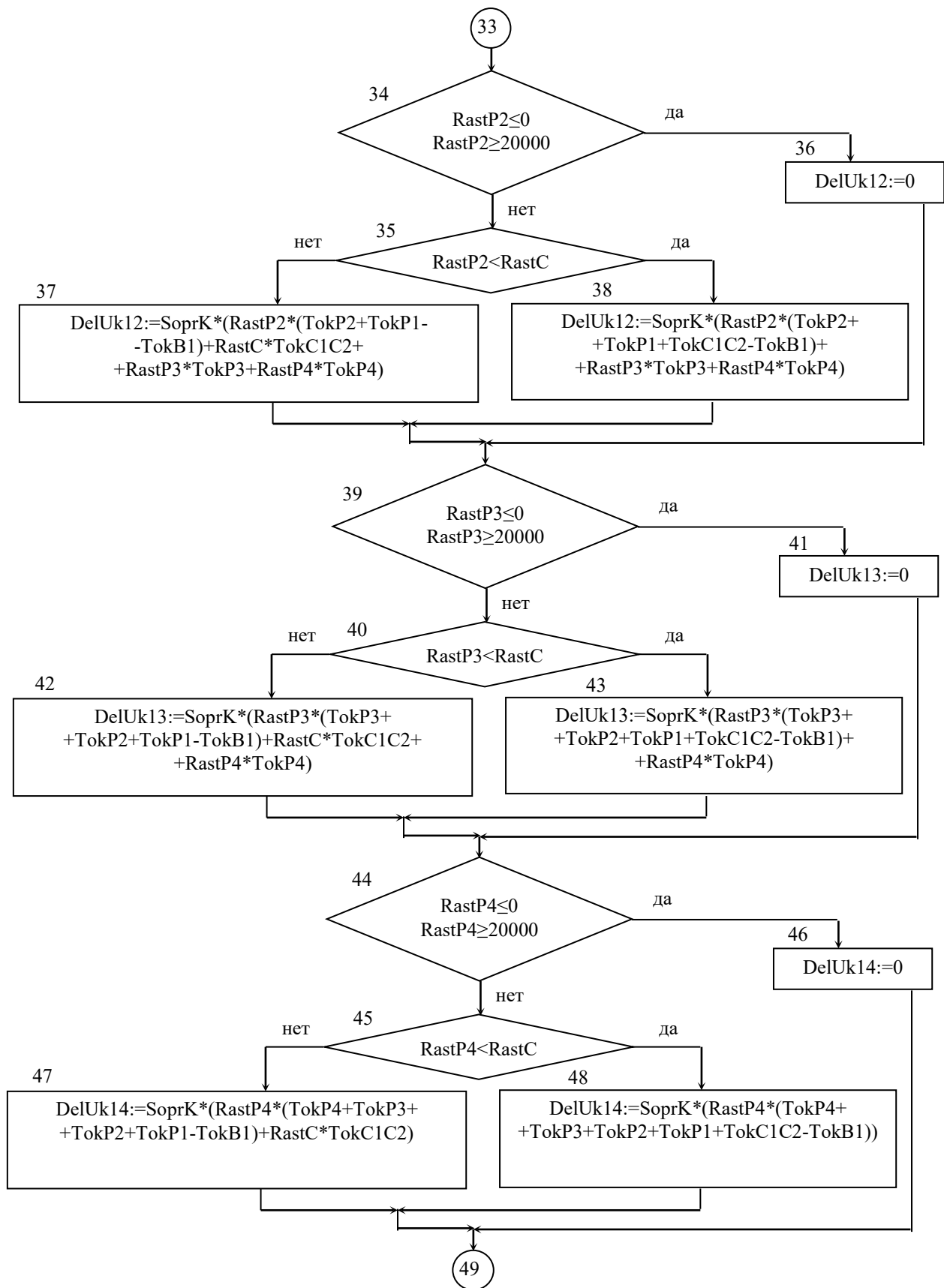


Рисунок 5.2 – Блок-схема програми PodNap (продовження)

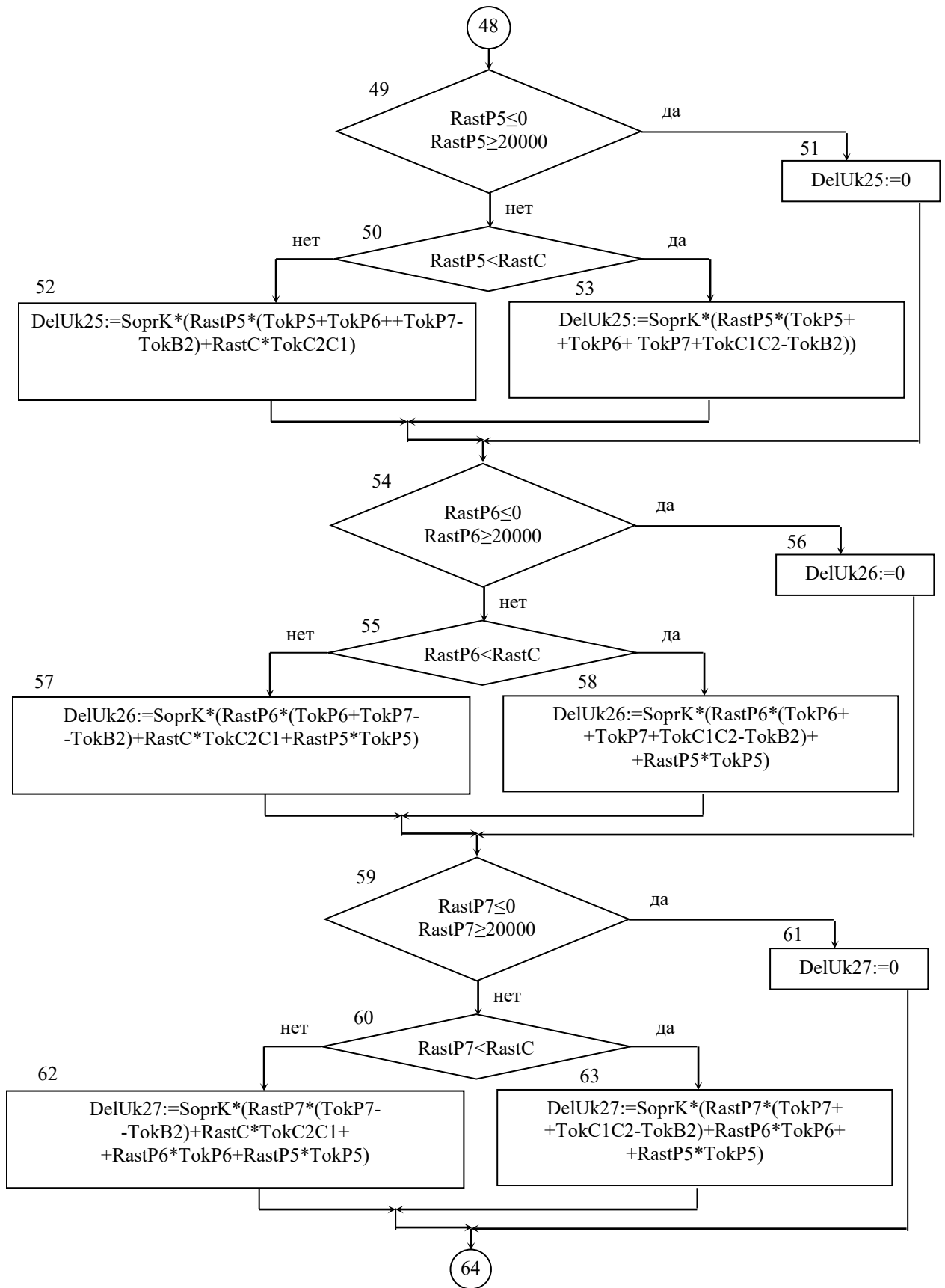


Рисунок 5.2 – Блок-схема программы PodNap (продовження)

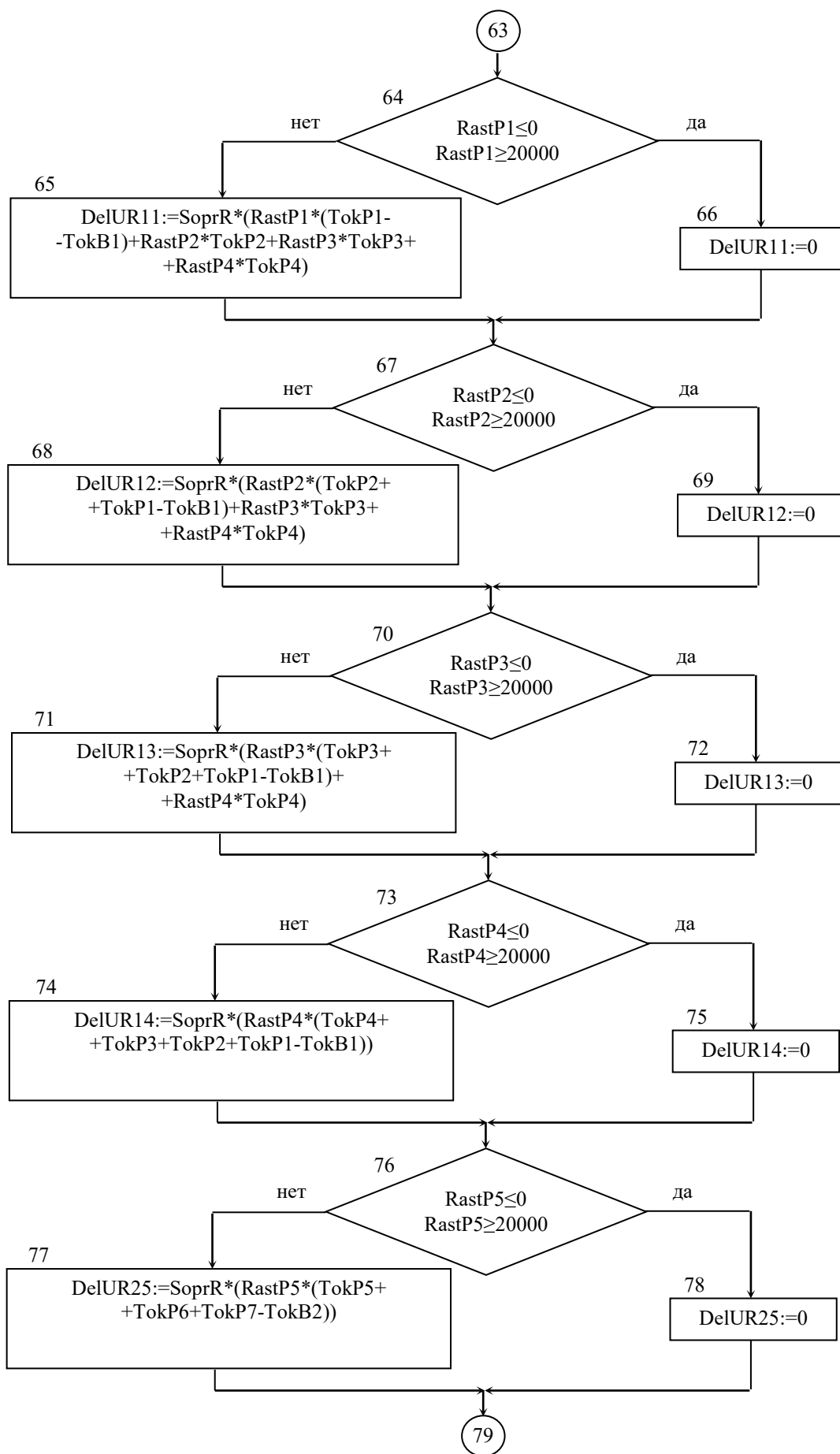


Рисунок 5.2 – Блок-схема программы PodNap (продовження)



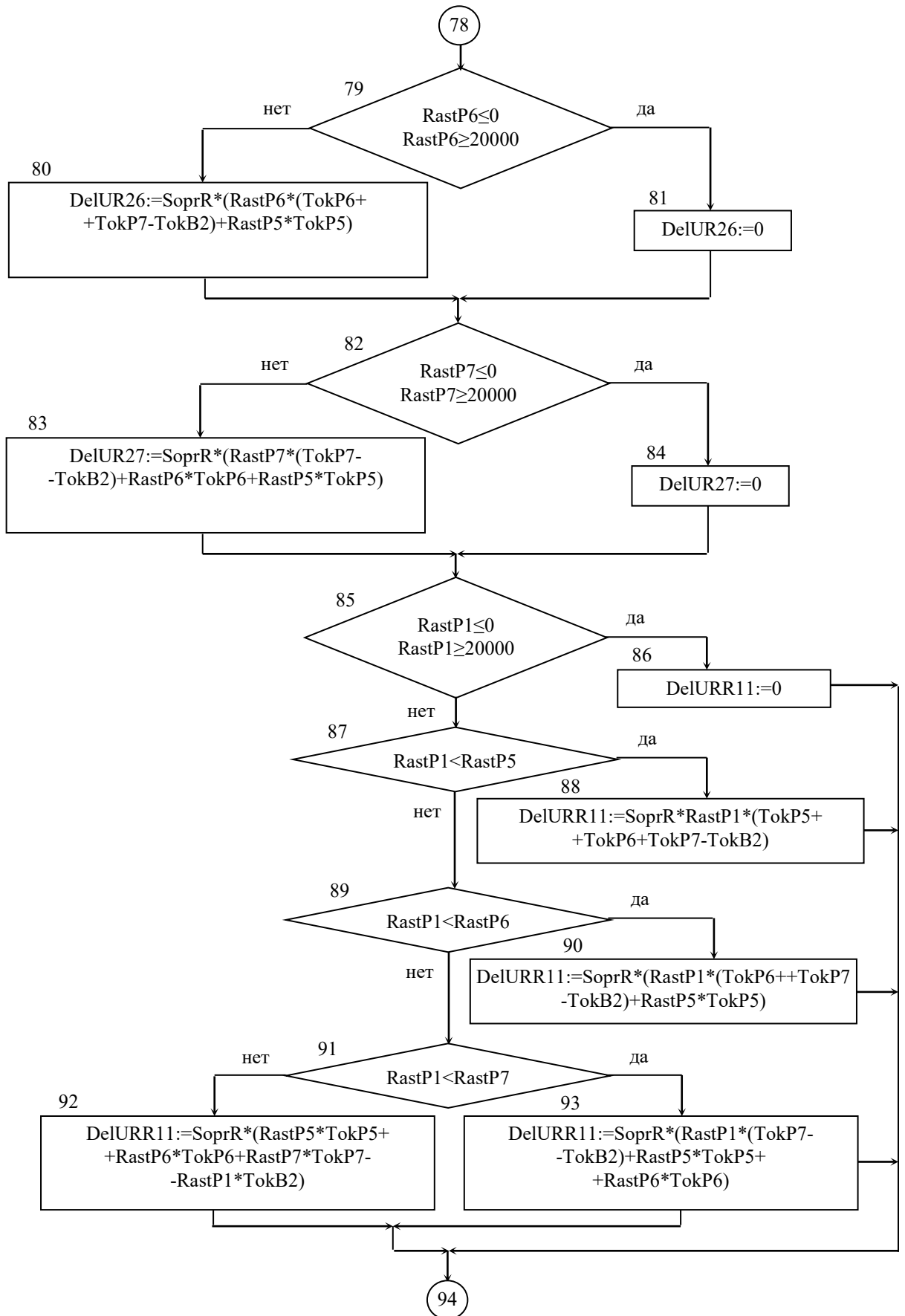


Рисунок 5.2 – Блок-схема програми PodNар (продовження)

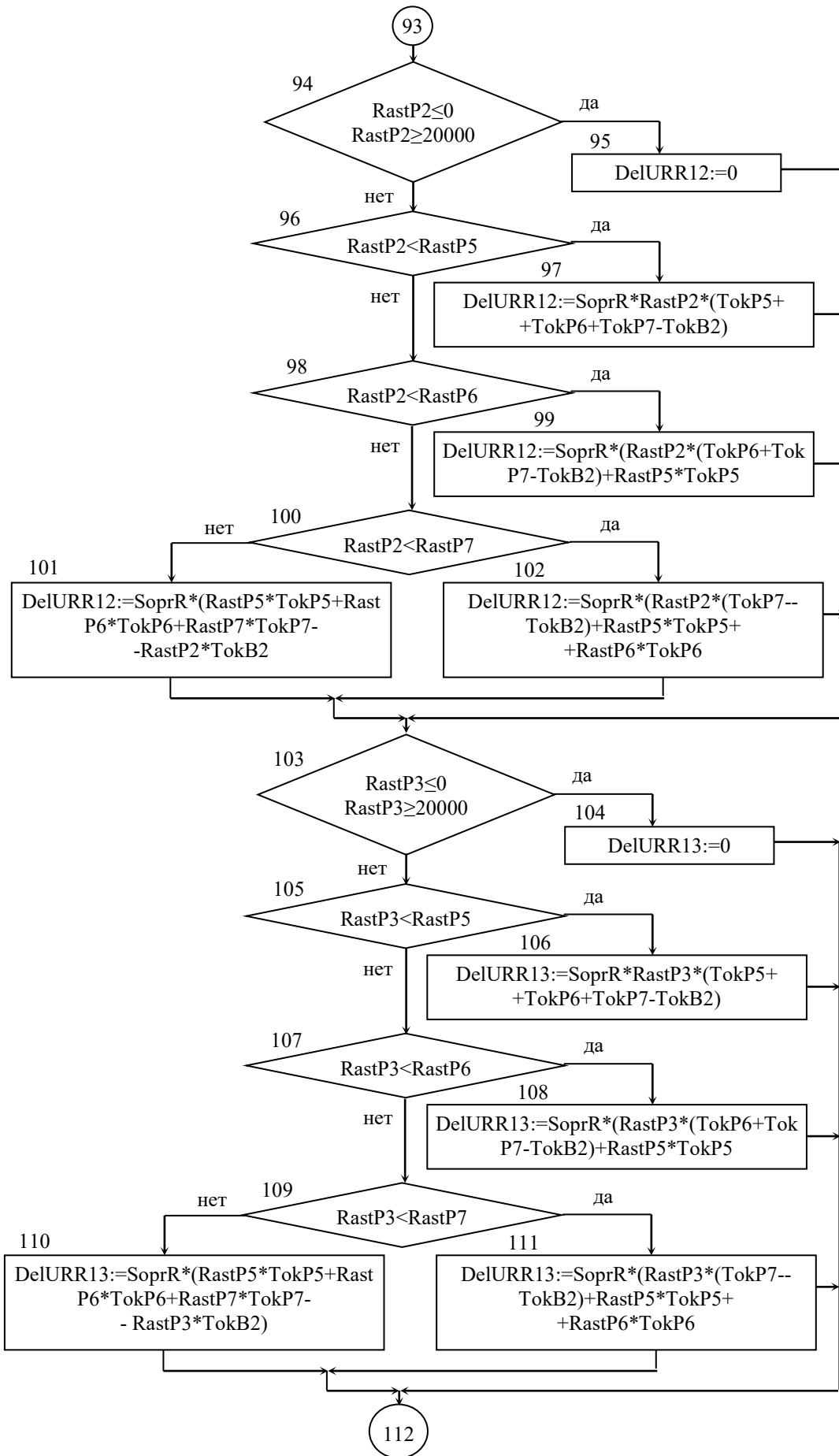


Рисунок 5.2 – Блок-схема програми PodNap (продовження)

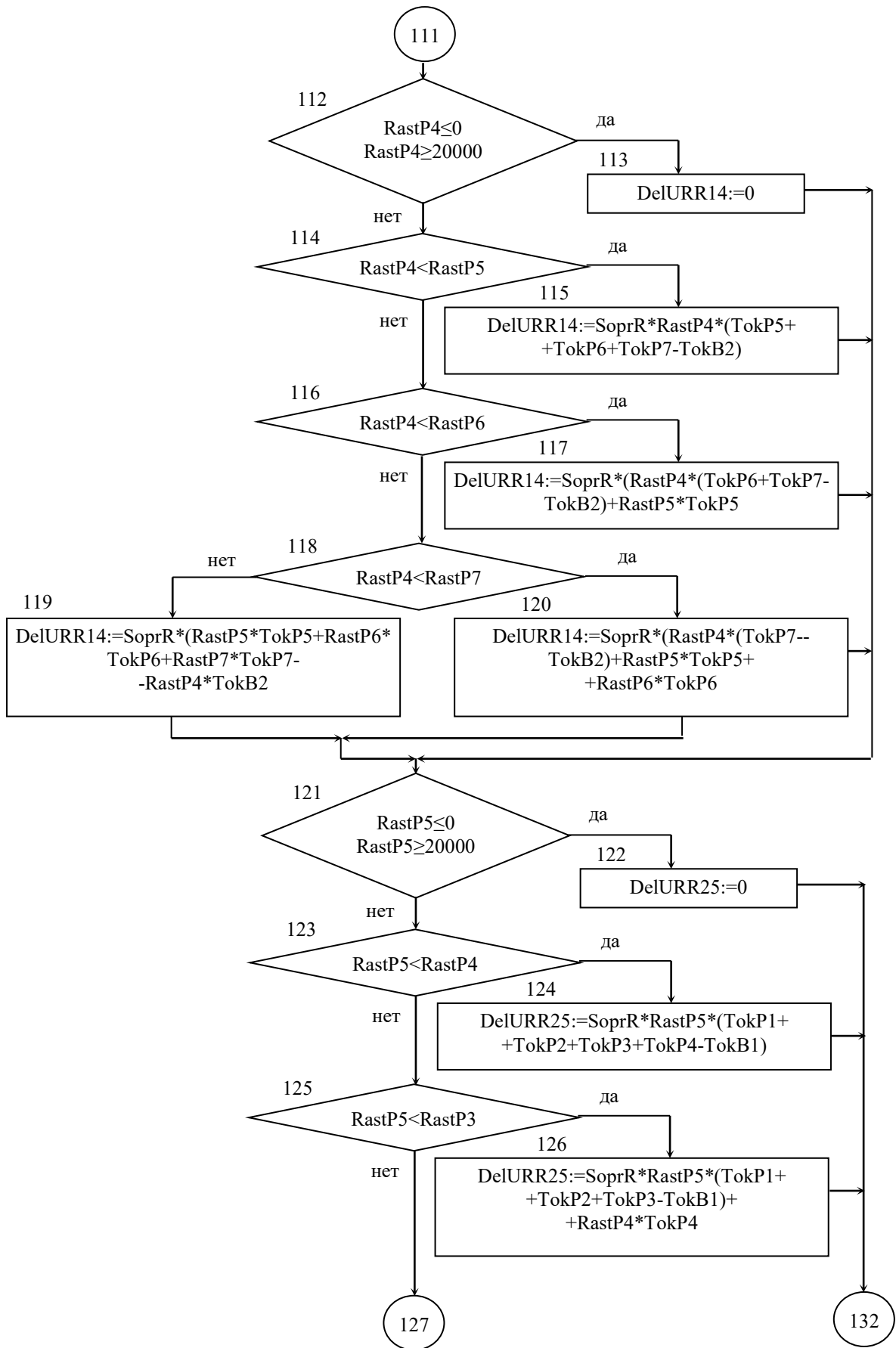


Рисунок 5.2 – Блок-схема программы PodNap (продовження)

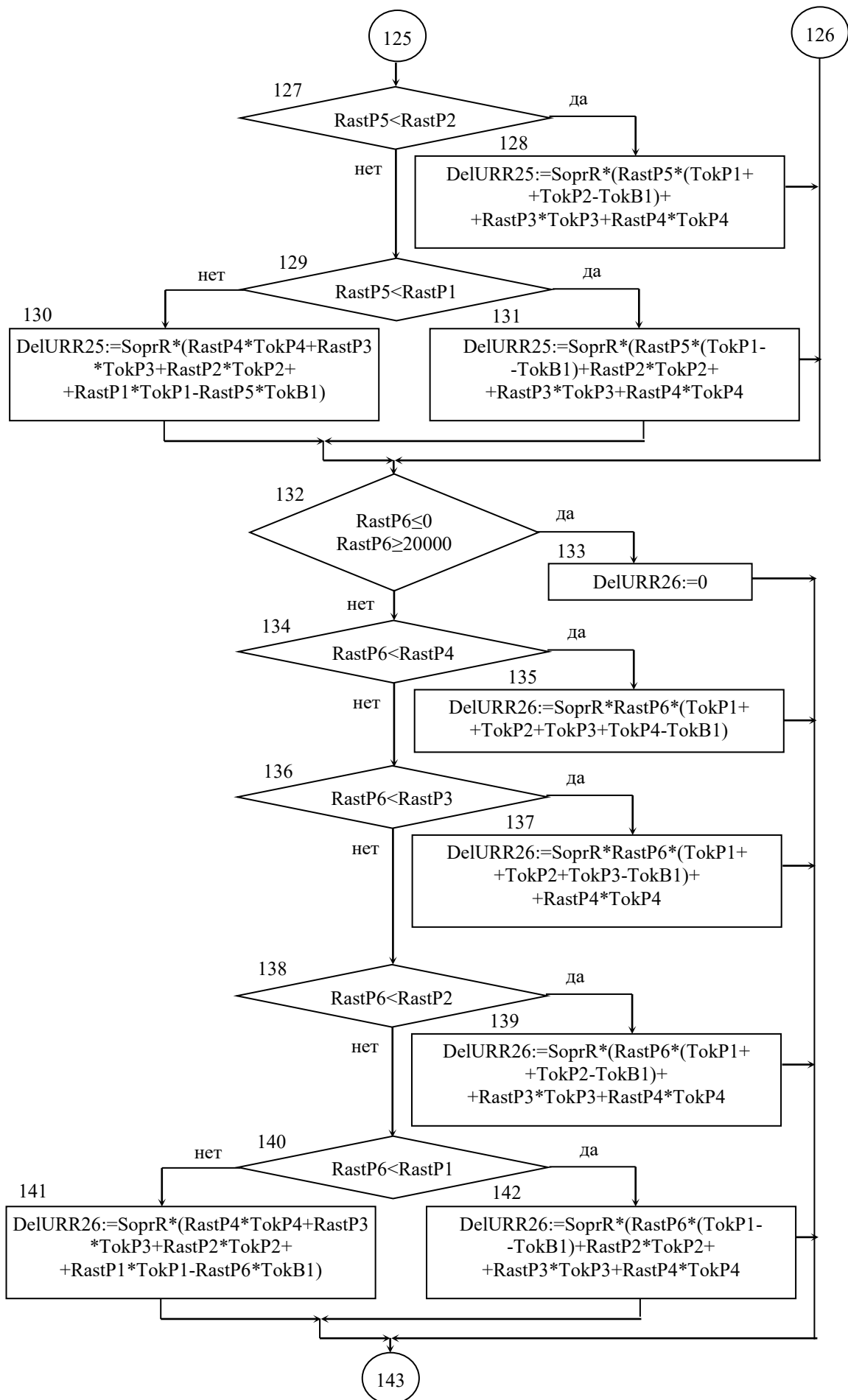


Рисунок 5.2 – Блок-схема программы PodNap (продовження)

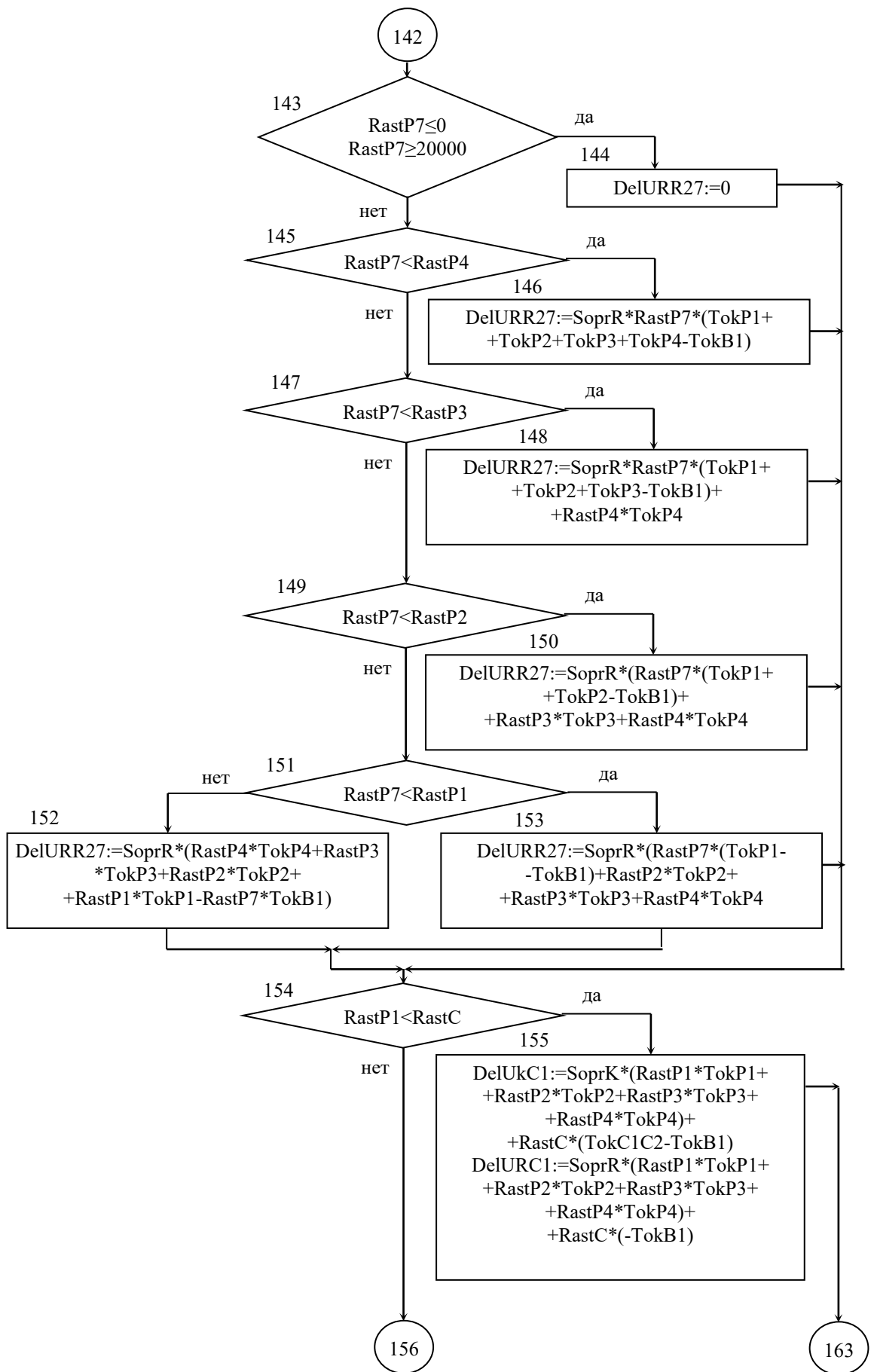


Рисунок 5.2 – Блок-схема програми PodNар (продовження)

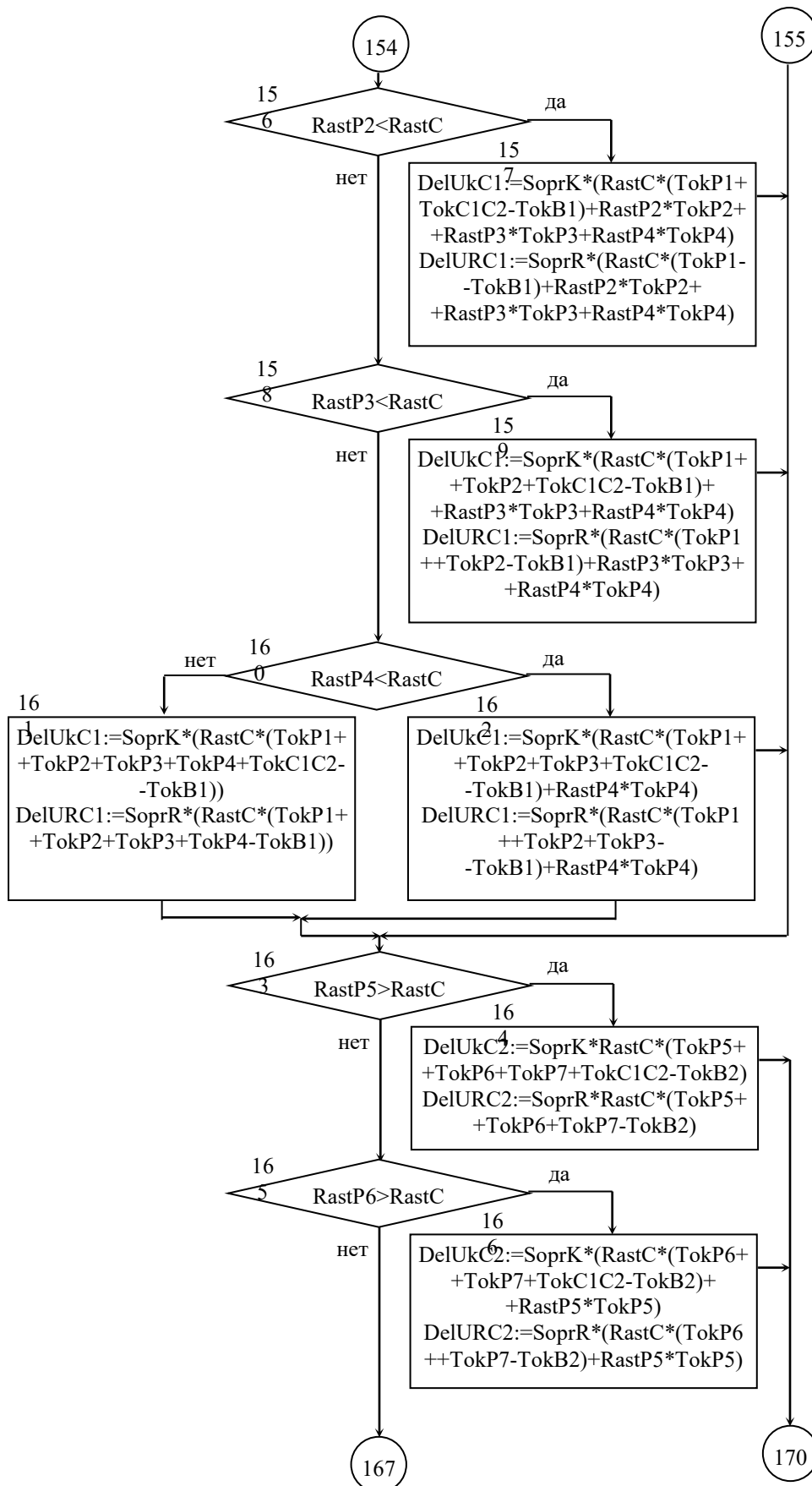


Рисунок 5.2 – Блок-схема программы RodNar (продовження)

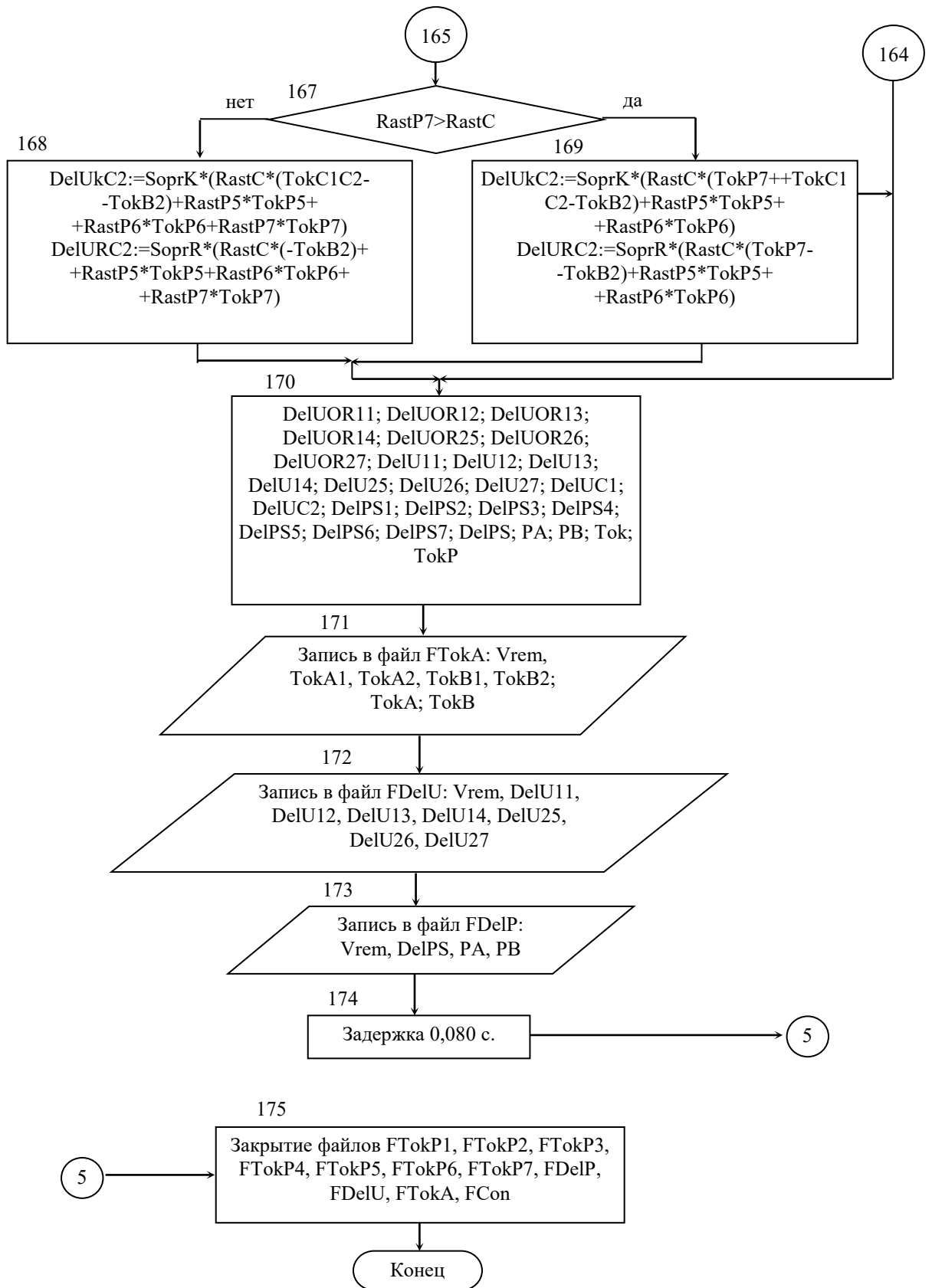


Рисунок 5.2 – Блок-схема програми PodNap (закінчення)

### **5.3. Результати розрахунку режимів роботи тягової мережі і підстанції та їх аналіз**

Графіки струмів фідерів 1 підстанції А та 2 підстанції Б в початковий час практично повністю повторюють графіки споживання струмів потягами 1 та 2 відповідно, це відбувається тому що основна частина струму протікає через ці фідери. Момент зміни струму на другому струмоприймачі відповідає початку руху другого потягу. При наближенні потягів до посту секціонування струм по фідерам розподіляється більш рівномірно. Наприкінці руху потягу графіки струмів на фідері 1 підстанції Б та на фідері 2 підстанції А повторюють графіки струмів потягів 1 та 2 відповідно, тому що основна частина струму протікає через ці фідери. Струми підстанцій є сумами струмів відповідних фідерів.

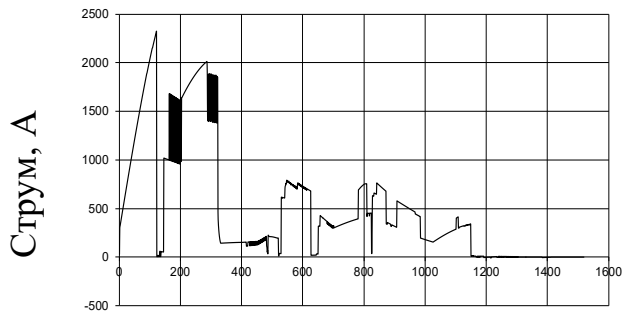
Значення струму, що протікає через пост секціонування (рис. 5.5), визначається різницею рівнем навантаження контактних дротів обох шляхів перегону. Струм через пост секціонування спрямований до того контактного проводу, де має місце більше навантаження.

Втрати потужності в мережі (рис. 5.6) носять суттєво змінний характер. Струми підстанцій отримані в результаті рознесення струмів електровозів поїздів.

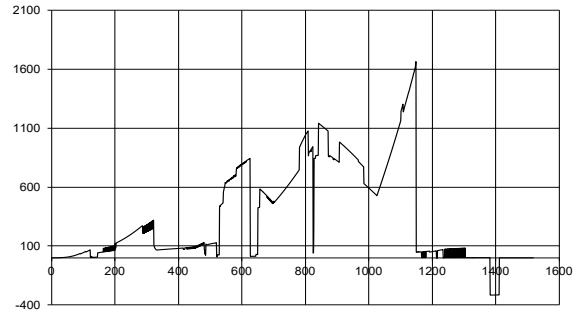
Як видно з таблиці, струми підстанцій А трохи більше струмів підстанції Б тому що від підстанції А відправляється більше потягів, ніж від підстанції Б.

Що стосується втрат напруги на струмоприймачах електровозів (рис. 5.7), то слід зазначити, що їх рівень досягає величини 1235 В, причому проглядається явна залежність цього показника як від характеру зміни струмів електровозів, так і від відстані електровозів до підстанцій.

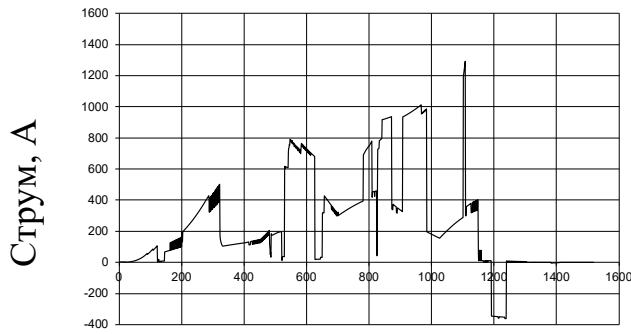




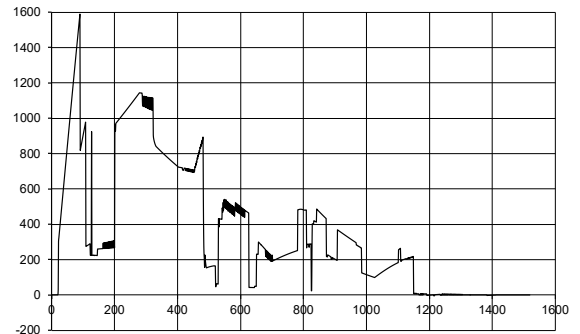
а)



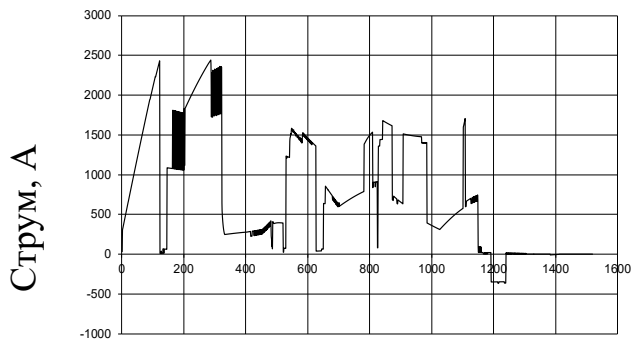
б)



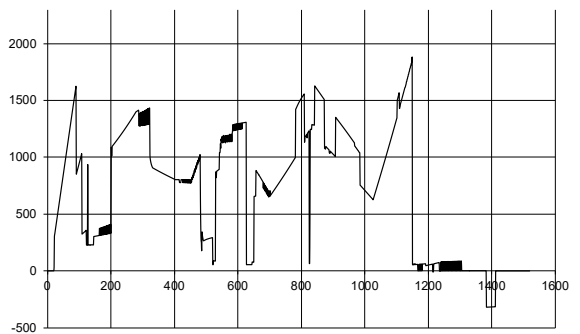
в)



г)



д)



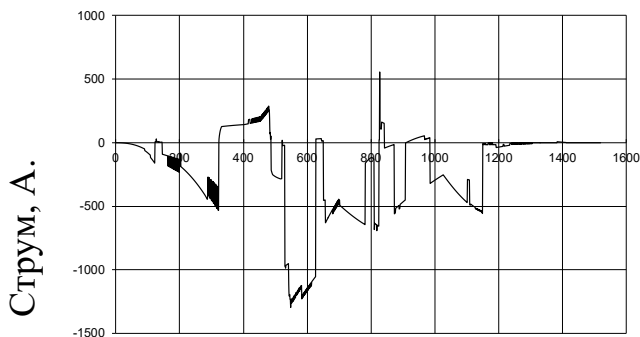
е)

Час, с

Час, с

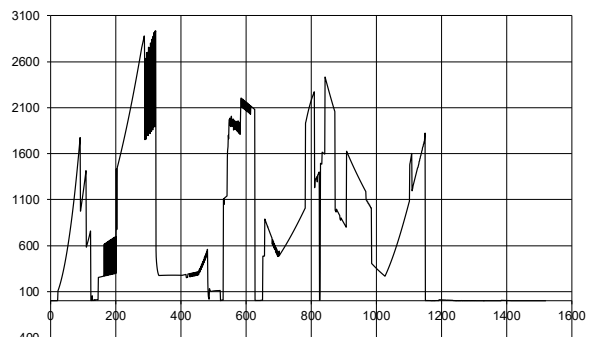
а,б – фідер 1 підстанції А і Б; в,г – фідер 2 підстанції А і Б; д,е – підстанція А і Б

Рисунок 5.4 – Струми фідерів підстанцій



Час, с

Рисунок 5.5 – Струм поста секціонування



Час, с

Рисунок 5.6 – Втрати потужності у тяговій мережі

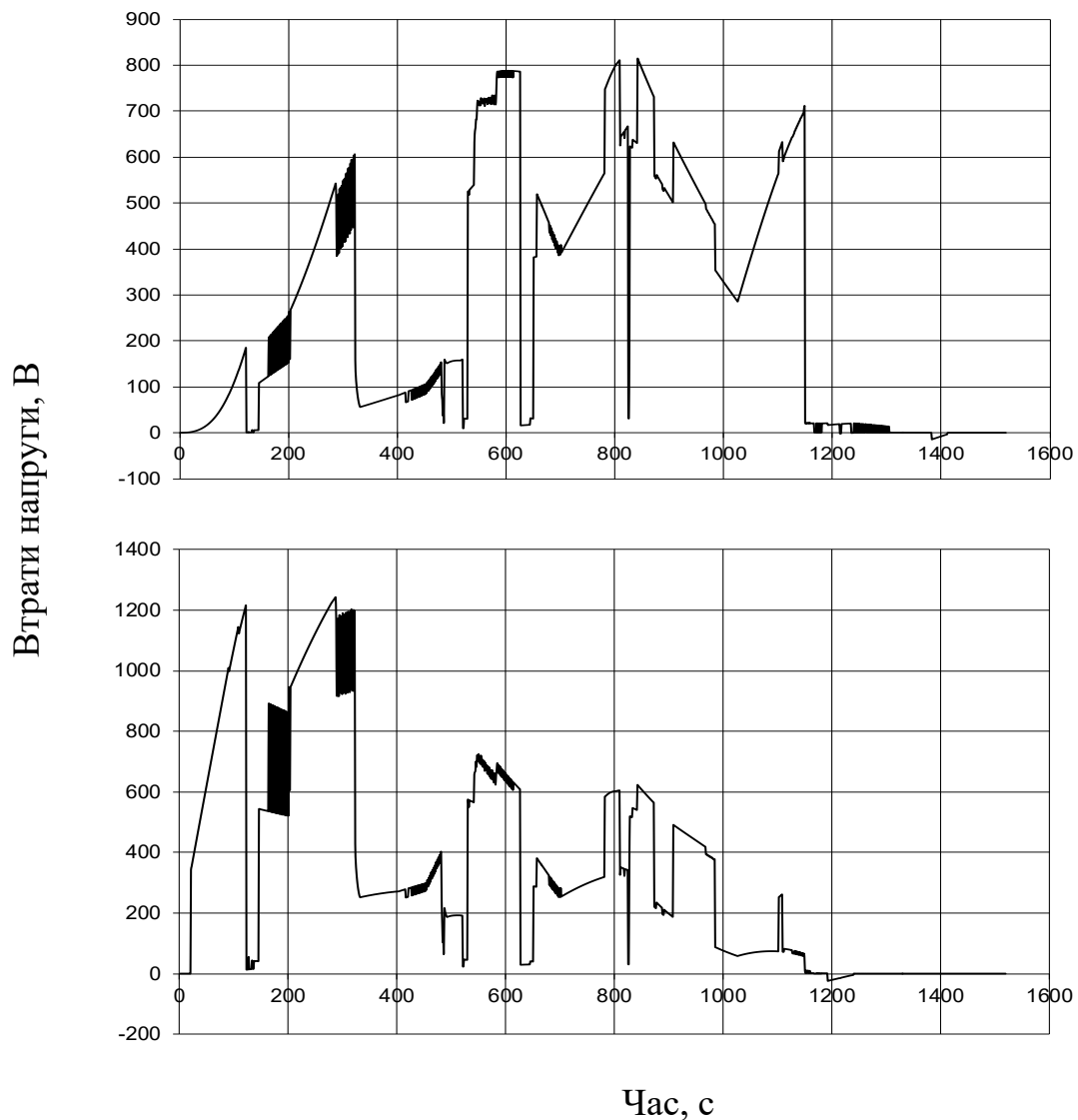


Рисунок 5.7 – Втрати напруги на струмоприймачі

### Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте характер зміну струму у фідері 1 підстанції А та фідері 2 підстанції Б.
2. Як визначаються струми підстанцій?
3. Що характеризує струм поста секціонування?
4. Як визначається діюче значення струму тягової підстанції?
5. Охарактеризуйте втрати напруги на струмоприймачах.

## 6. ВИБІР СИЛОВОГО УСТАТКУВАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

### 6.1. Опис тягової підстанції постійного струму

На таких підстанціях (рис. 6.1) застосовують, як правило, двоступеневу трансформацію: спочатку напруга знижується з 110 кВ через знижувальний трансформатор 1 на шину 2 до напруги 10(6) кВ. В якості знижувальних трансформаторів найчастіше застосовуються трансформатори типу ТДТН-10000/110 потужністю  $S_{\text{нп}} = 10000$  кВА з номінальною напругою на обмотці нижчої напруги 11 і 6,6 кВ, напругою короткого замкнення  $u_{\text{кп}}$  рівною 10,5% або 17% відповідно. Напруга від РУ-10(6) кВ подається через роз'єднувачі 3 і вимикачі 4 до знижувальних силових трансформаторів 5. До вторинних обмоток цих трансформаторів підключені напівпровідникові випрямлячі 6, що перетворюють змінну напругу 3,3 кВ в постійну, що необхідна для живлення ЕРС. Позитивний полюс випрямного агрегату 6 через роз'єднувачі 7 і швидкодіючий вимикач 8 підключений до головної плюсової шини підстанції, а негативний – до мінусової шини.

Фідери 11, що живлять контактну мережу, підключені до головної позитивної шини підстанції через роз'єднувачі 9 і швидкодіючий вимикач 10. Заміну будь-якого швидкодіючого вимикача фідера на запасний 15 здійснюють з використанням запасної шини ЗШ через роз'єднувач 16. Таким чином, в контактну мережу з головної або сполученої з нею запасної шини підстанції через фідери подається позитивний потенціал, а до рейок з негативної шини через відсмоктуючу лінію 12 – негативний.

Для запобігання перешкодам в лініях зв'язку встановлюють згладжуючі пристрої, що складаються з реактора 13 і резонансних контурів 14.

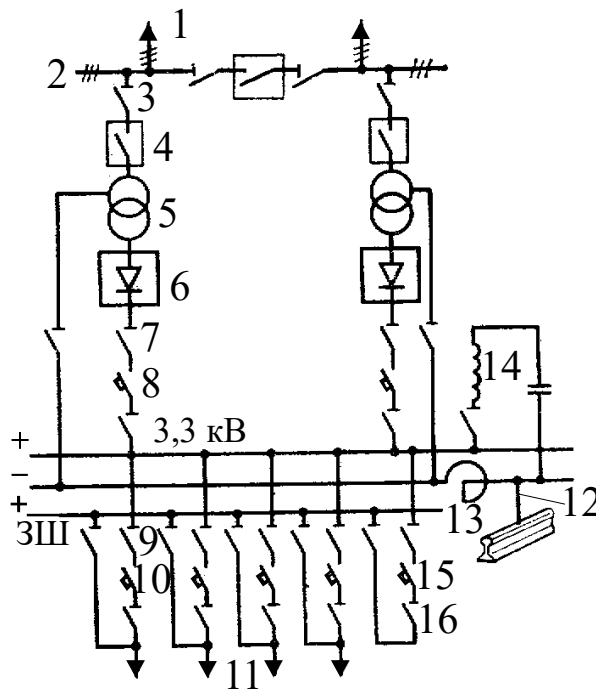


Рисунок 6.1 – Схема тягової підстанції постійного струму

## 6.2. Вибір перетворювальних агрегатів

Визначаємо необхідну повну потужність перетворювальних агрегатів по наступних формулах.

Якщо йдеться про кінцеву тягову підстанцію, то

$$S_{ТП} = 1,05 \cdot U_{дн} \cdot I_{(А,Б)}, \quad (6.1)$$

де  $U_{дн}$  – номінальна випрямлена напруга на шинах підстанції

$I_{(А,Б)}$  – діюче значення струму тягової підстанції.

Якщо йдеться про опорну тягову підстанцію, то ми припускаємо, що міжстанційні зони, що примикають до даної опорної підстанції, за енергетичними показниками ідентичні. Тоді необхідна повна потужність перетворювальних агрегатів визначається за формулою

$$S_{ТП} = 1,05 \cdot U_{дн} \cdot (I_A + I_B). \quad (6.2)$$

Визначаємо потужність окремого перетворювального агрегату підстанції. Виходячи з того, що число перетворювальних агрегатів  $N_{ПА}$  в

цілях забезпечення надійності роботи тягової підстанції має бути не менше двох, знаходимо розрахункову потужність перетворювального агрегату, як

$$S_{ПА} = \frac{S_{ТП}}{N_{ПА}} \cdot \quad (6.3)$$

Номінальну потужність  $S_{ПАН}$  і тип перетворювального агрегату визначаємо по таблі. 6.1 з умови  $S_{ПАН} \geq S_{ПА}$ .

Таблиця 6.1 – Основні технічні характеристики перетворювальних агрегатів

Перетворювальний агрегат				Трансформатор			
Тип	Потужність, $S_{пан}$ , кВт	Номінальний випрямлений струм, $I_{дн}$ , А	Перевантажувальна здатність	Тип	Потужність, $S_{пт}$ , кВА	Напруга мережевих обмоток, кВ	Напруга к.з. $u_k$ , %
УВКЭ-1	9900	3000	25%-15мін, 50% -1мин	ТМРУ- 16000/10	11100	6,0 10,0	7,0
ПВЭ-2	4950	1500	20%-15мін, 50% -1мин	УТМРУ- 6300/35	3700	6,3 10,5 35,0	7,7 7,7 8,2
ВИПЭ	6600	2000	80%-15мін	ТМРУ- 16000/10Ж	11840	6,0 10,0	7,35

Навантаження тягових підстанцій та їх перетворювальних агрегатів змінюється в процесі експлуатації. Для правильного вибору їх потужності необхідно мати в розпорядженні дані про перевантажувальну здатність агрегатів, які також наведені в табл. 6.1.

### 6.3. Розрахунок струмів короткого замикання

#### 6.3.1. Розрахунок струмів короткого замикання на шинах 3,3 кВ

Визначаємо максимальний сталий струм к.з. на шинах РУ 3,3 кВ

$$I_k = \frac{1,1 \cdot I_{дн} \cdot N_{ПА}}{\frac{\sum S_{ПТ}}{S_k} + \frac{u_{КТ}}{100}}, \quad (6.5)$$

де  $\sum S_{ПТ}$  – номінальна потужність усіх трансформаторів випрямляючих перетворювачів, МВ·А,

$S_k$  – потужність к.з. на шинах, від яких живляться трансформатори випрямних перетворювачів, МВ·А [6],

$u_{КТ}$  – напруга к.з. цих трансформаторів, %.

Найбільше значення струму(ударний струм) визначається як

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y I_k, \quad (6.6)$$

де  $K_y$  – ударний коефіцієнт, для мереж з напругою понад 1000 В приймається рівним 1,8.

#### 6.3.2. Розрахунок струмів короткого замикання на фідері тягової підстанції

Для двоколіїної ділянки з постом секціонування найбільш загальним буде випадок, коли при к.з. вимикачі підстанції і поста секціонування ще залишаються увімкненими. Цьому відповідає розрахункова схема, що приведена на рис. 6.2.

Струми  $I_{кА}$  і  $I_{кС}$ , що притікають до місця к.з. відповідно від підстанції А та з боку поста секціонування

$$I_{кА} = \frac{(r_{C2} + r_{C1})U_p}{\gamma}, \quad (6.7)$$

$$I_{кС} = \frac{(r_{A2} + r_{A1})U_p}{\gamma}, \quad (6.8)$$

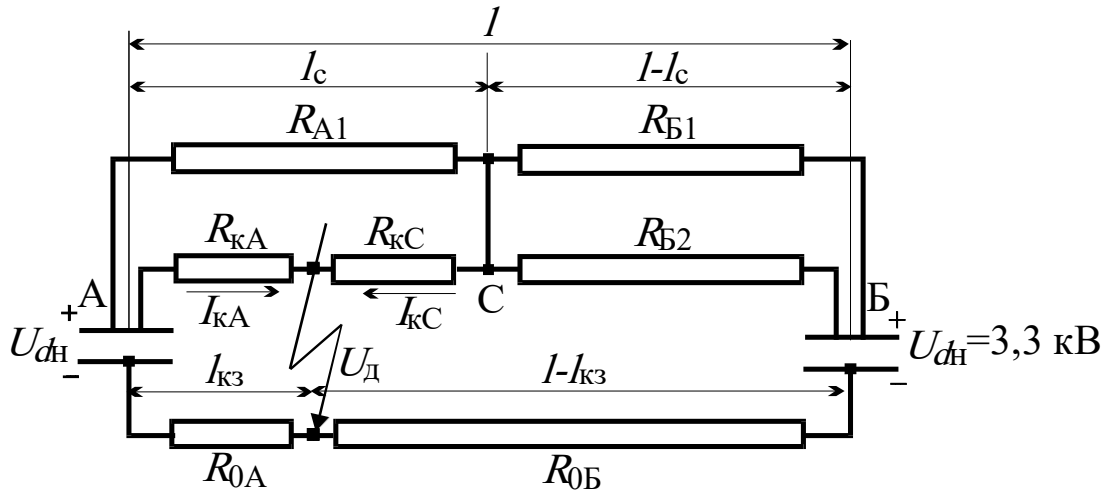


Рисунок 6.2 – Схема заміщення тягової мережі для розрахунку струмів к.з.

де  $r_{A1}; r_{A2}; r_{C1}; r_{C2}; \gamma$  і  $U_p$  визначаються в порядку, що наведено нижче:

$$\rho_{(A,B)} = 0,01 \cdot A \cdot U_{dH}^2 \cdot \left( \frac{u_{кп}}{n_{тп} S_{нп}} + \frac{u_{кт}}{n_{тт} S_{тт}} + \frac{100}{S_{к.з.}} \right), \quad (6.9)$$

$$R_{0B} = r_p(l - l_{кз}) + \rho_B, \quad (6.10)$$

$$R_{0A} = r_p l_{кз} \rho_A, \quad (6.11)$$

$$R_{кC} = r_{к.с.}(l_c - l_{кз}), \quad (6.12)$$

$$R_{кA} = R_{\phi A2} + r_{к.с.} \cdot l_{кз}, \quad (6.13)$$

$$R_{B2} = R_{\phi B2} + r_{к.с.}(l - l_c), \quad (6.14)$$

$$R_{B1} = R_{\phi B1} + r_{к.с.}(l - l_c), \quad (6.15)$$

$$R_{A1} = R_{\phi A1} + r_{к.с.} \cdot l_c, \quad (6.16)$$

$$\alpha_A = \frac{R_{кA}}{R_{A1}}, \quad (6.17)$$

$$\alpha_C = \frac{R_{кC}}{R_{A1}}, \quad (6.18)$$

$$R_B = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} + R_{0B}, \quad (6.19)$$

$$r_{C1} = \alpha_C R_{0A}, \quad (6.20)$$

$$r_{A1} = \alpha_A R_B, \quad (6.21)$$

$$r_{A2} = R_{KA} + (1 + \alpha_A) R_{0A}, \quad (6.22)$$

$$r_{C2} = R_{KC} + (1 + \alpha_C) R_B, \quad (6.23)$$

$$\gamma = r_{A2} \cdot r_{C2} - r_{A1} \cdot r_{C1}, \quad (6.24)$$

$$U_p = \eta \cdot U_{дн} - U_{д}, \quad (6.25)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт комутації, що дорівнює 0,5

$u_{кп}$  – напруга к.з. понижуючого трансформатора %;

$u_{кт}$  – напруга к.з. тягового трансформатора %;

$n_t$  – кількість паралельно працюючих трансформаторів;

$S_H$  – номінальна потужність трансформатора, МВА;

$S_{к.з.}$  – потужність к.з. на вводах тягової підстанції, МВА;

$U_{д}$  – падіння напруги в дузі, приймається рівним 200 В;

$R_{фA1}, R_{фA2}, R_{фB1}, R_{фB2}$  – опори фідерів першої та другої колії підстанції А і Б, приймаються рівними 0,2 Ом;

$R_{0A}, R_{0B}$  – опір відсмоктуючих фідерів А і Б, приймаються рівними 0,08 Ом;

$\rho_A, \rho_B$  – еквівалентні опори підстанцій А і Б.

У виразі (6.9) величини з індексом «п» відносяться до понижувальних трансформаторів, а з індексом «т» - до тягових.

#### 6.4. Вибір апаратури захисту

Швидкодіючі вимикачі (ШВ) постійного струму.



При виборі типу вимикача слід враховувати, в якому колі передбачається встановити вимикач (після випрямляча або на фідері контактної мережі).

Для вибору ШВ потрібно знати:

- найбільший струм відключення ШВ  $I_{н.откл}$ ;
- номінальний тривалий струм  $I_n$ ;
- номінальну напругу  $U_{дн}$ .

Номінальні дані ШВ приведені в табл. 6.2.

Вибраний ШВ потрібно перевіряти:

- по номінальній напрузі

$$U_n \geq U_{дн}, \quad (6.26)$$

- по номінальному тривалому струму

$$I_{нТ} \geq I_n, \\ I_n = i_{П\max} / N_{ПА}, \quad (6.27)$$

де  $i_{П\max}$  – максимальне значення струму підстанції.

- по найбільшому струму відключення

$$I_{д.откл} \geq I_{н.откл}, \\ I_{н.откл.} = k \cdot I_k, \quad (6.28)$$

де  $I_k$  – струм к.з., що встановився на шинах випрямленої напруги підстанцій, визначається з обчислень за формулою (6.5), а для фідерів – за формулами (6.7) і (6.8).

$k$  – коефіцієнт, що враховує струмообмежувальний ефект вимикача, приймається  $k = 0,6 \dots 0,7$  [8].

Таблиця 6.2 – Номінальні дані швидкодіючих вимикачів постійного струму [7]

Тип вимикача	Номінальний струм $I_{HT}$ , А	Межі струму уставки $I_{УСТ}$ , А	Найбільше значення струму, що відключається $I_{Д.откл}$ , А	Найбільша робоча напруга, $U_H$ , кВ	Повний час відключення вимикача в колі з максимальним значенням аварійного струму, що відключається, с
АБ-2/4	2000	4000	20000	4,1	0,08
ВАБ-28-3000/30-К	3000	6000	15000	4,1	0,04
ВАБ-28-3000/30-Л	3000	6000	15000	4,1	0,045
ВАБ-43-4000/30-Л-У4	4000	5000	27000	4,1	0,05

Вибір роз'єднувачів.

При виборі конструкції роз'єднувачів слід враховувати місце розташування роз'єднувача.

Для вибору роз'єднувача потрібно знати:

- номінальну напругу  $U_{дн}$ ;
- ефективний струм роз'єднувача (його ще називають наскрізним струмом роз'єднувача)  $I_{\Sigma}$ ;
- амплітудне значення наскрізного струму  $I_{pmax}$ ;
- струм термічної стійкості  $I_{терм.норм.}$ ;

Технічні дані роз'єднувачів приведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Технічні дані роз'єднувачів

Тип	Найбільша робоча напруга, $U_n$ , кВ	Граничний наскрізний струм, $I_n$ , кА*	Струм термічної стійкості на протязі 4с, $I_{\text{терм.норм.}}$ , кА
РВ-10/1000	11,5	71/120*	40
РВК-10/2000	11,5	50/85*	36
РВК-10/3000	11,5	120/200*	60
РВК-10/4000	11,5	120/200*	65

\* у чисельнику вказано ефективне значення граничного струму  $I_{\text{нз}}$ , в знаменнику – амплітудне  $I_{\text{нmax}}$ .

Вибраний роз'єднувач потрібно перевірити:

- по номінальній напрузі

$$U_n \geq U_{\text{дн}}, \quad (6.29)$$

- по номінальному струму роз'єднувача (ефективне значення струму)

$$I_{\text{нз}} \geq I_{\text{э}}, \quad (6.30)$$

де  $I_{\text{э}}$  – максимальний робочий струм в місці приєднання установки роз'єднувача, який визначається з розрахунку відповідного струму короткого замикання  $I_k$ ;

- по електродинамічній стійкості

$$I_n \geq i_y, \quad (6.31)$$

де  $i_y$  – ударний струм к.з., визначається за виразом (6.6).

- по термічній стійкості [9]

$$B_k \leq B_{\text{терм.доп.}} \cdot \quad (6.32)$$

Тут  $B_k$  – фактичне значення інтеграла Джоуля

$$B_k = I_{\text{э}}^2 \cdot t_{\text{откл}}, \quad (6.33)$$

де  $t_{\text{откл}}$  – розрахункова тривалість к.з., яка приймається рівною гранично допустимому часу дії нормованого струму термічної стійкості  $t_{\text{терм.норм.}}$  (приймається рівною 4 с).

Наявне у виразі (6.32)  $B_{\text{терм.норм.}}$  – допустиме значення інтегралу Джоуля для апарату, що перевіряється, визначається таким чином:

$$B_{\text{терм.доп.}} = I_{\text{терм.норм.}}^2 \cdot t_{\text{терм.норм.}}, \quad (6.34)$$

де  $I_{\text{терм.норм.}}$  – нормований струм термічної стійкості апарату, що перевіряється.

### Контрольні запитання

1. З яких частин складається перетворювальний агрегат тягової підстанції ?
2. Як визначити необхідну повну потужність перетворювального агрегату?
3. Що таке ударний струм, як його визначити?
4. Яку апаратуру захисту ви обираєте у дипломній роботі бакалавра для тягової підстанції ?
5. Які характеристики необхідно визначити для вибору роз'єднувача?

## 7. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ І ОФОРМЛЕННЯ ПРОЕКТУ

### 7.1. Зміст проекту

Бакалаврський проект має містити: титульний лист; відомості проекту; завдання на дипломний проект; титульний лист пояснювальної записки; реферат (двома або більше мовами); зміст; текстовий матеріал у наступних розділах:

1	Вихідні дані і задачі проектування .....	___
2	Опис програмно-алгоритмічного комплексу .....	___
3	Рішення тягової задачі .....	___
3.1	Опис програми PotygVV .....	___
3.2	Опис програми PotygA .....	___
3.3	Результати вирішення тягової задачі і їх аналіз .....	___
4	Розрахунок режимів роботи тягової мережі і підстанції .....	___
4.1	Опис програми PodTyag .....	___
4.2	Опис програми PodNap .....	___
4.3	Результати розрахунку режимів роботи тягової мережі і підстанції та їх аналіз .....	___
5	Вибір силового обладнання тягових підстанцій .....	___
5.1	Опис схеми тягової підстанції .....	___
5.2	Вибір тягових перетворюючих агрегатів .....	___
5.3	Розрахунок струмів короткого замикання .....	___
5.4	Вибір апаратури захисту .....	___
6	Економічне обґрунтування .....	___
7	Охорона праці ті навколишнього середовища .....	___
	Висновок .....	___
	Список джерел інформації .....	___

**Розділи «Реферат», «Зміст», «Введення», 1, 2, 3, 4, 5, «Висновок», «Список джерел інформації» повинні розпочинатися з нової сторінки, а підрозділи 3.1, 3.2 і так далі повинні розміщуватися підряд в межах кожного розділу.**

Приклад оформлення дипломного проекту наводиться нижче.

## 6.2 Зразок оформлення проекту

*(Титульний лист дипломної роботи)*

Міністерство освіти і науки України

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Факультет (відділення)

ТМ

Кафедра (предметна, циклова комісія) електричного транспорту та  
тепловозобудування

Напрямок підготовки (спеціальність) 6.05070203 Електричний транспорт

До захисту допускаю

Завідувач кафедри

В.І.Омельяненко

(ініціали та прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис, дата)

### ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр

Тема роботи Система тягового електропостачання постійного струму для  
вантажних поїздів з 45 вагонами, масою  $3200 \times 10^3$  кг та електровозом з асинхронними  
тяговими двигунами для заданих профілю шляху та графіку руху.

Шифр роботи ТМ-61.03

(група, номер теми за наказом)

Виконавець Іванов Юрій Юрійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник проф. Доманський Валерій Тимофійович

(посада, прізвище, ім'я, по-батькові)

Харків 2015



Завдання на проектування (з нової сторінки)  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Факультет (відділення) \_\_\_\_\_ ТМ \_\_\_\_\_  
Кафедра (предметна, циклова комісія) електричного транспорту та тепловозобудування  
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр \_\_\_\_\_  
Напрямок підготовки 6.050702 Електромеханіка \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
Спеціальність 6.050702 Електричний транспорт \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, голова циклової  
комісії В.І.Омельяненко \_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Іванову Юрію Юрійовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема проекту (роботи) Система тягового електропостачання постійного струму для  
вантажних поїздів з 45 вагонами, масою  $3200 \times 10^3$  кг та електровозом з асинхронними  
тяговими двигунами для заданих профілю шляху та графіку руху \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

керівник проекту (роботи) Доманський Валерій Тимофійович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від «\_\_» \_\_\_\_\_ року № \_\_\_\_\_

2 Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3 Вихідні дані до проекту (роботи) Параметри електровоза. Кількість вагонів. – 45 Маса  
складу. Швидкість руху. Профільділянки шляху \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вирішити тягову задачу. Розрахувати режими роботи тягової мережі і тягової підстанції  
Вибрати устаткування для тягової підстанції. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення:  
Плакати 4 аркуша А2 та 1 аркуш А1 \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



Завдання на проектування (зворотня сторона опередньої сторінки)

6 Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічне			
обґрунтування			
Охорона праці і			
навк. середовища			

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Номер етапу	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір і обґрунтування теми, постановка проблем і завдань		
2	Огляд аналогічних конструкцій електропоїздів		
3	Розрахунок спеціальної частини		
4	Підготовка і виконання пояснювальної записки		
5	Складання відомості документів оформлення ПЗ		
6	Виконання креслень, плакатів та доповіді		
7	Подання ДП на відгук та зовнішню рецензію		
8	Подання ДП на допуск до захисту		
9	Захист ДП		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Іванов Ю. Ю.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Доманський В. Т.  
(прізвище та ініціали)

Титульний лист пояснювальної записки (з нової сторінки)  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Факультет (відділення) ТМ

Кафедра (предметна, циклова комісія) електричного транспорту та тепловозо-  
будування

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ**

бакалавр  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Система тягового електропостачання постійного струму для  
вантажних поїздів з 45 вагонами, масою  $3200 \times 10^3$  кг та електровозом з  
асинхронними тяговими двигунами для заданих профілю шляху та графіку  
руху.

Виконав студент 4 курсу, групи ТМ-61  
напряму підготовки (спеціальності)  
7.05070203 Електричний транспорт  
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Іванов Ю. Ю.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Доманський В. Т.  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтролер Маслієв В.Г.  
(прізвище та ініціали)

Харків 2015 року

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до ДП: 126 с., 14 рис., 19 табл., 26 джерел

*Ключові слова:* ЕЛЕКТРИФІКОВАНІ ЗАЛІЗНИЦІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, ТЯГОВІ МЕРЕЖА, СКЛАД, ЕЛЕКТРОВОЗ З АСИНХРОННИМ ТЯГОВИМ ДВИГУНОМ, ТЯГОВІ ЗАДАЧА, ПІДСТАНЦЯ, СИЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ

Розглядається двоколійна електрифікована ділянка залізниці постійного струму з двостороннім живленням і постом секціонування. Задано профіль колії і параметри тягової мережі, параметри вантажного поїзда і електровоза з асинхронними тяговими двигунами і графік руху 2 поїздів із заданим інтервалом. Шляхом вирішення тягової задачі визначені криві руху та енергетичні показники роботи електрорухомого складу. На цій базі виконаний розрахунок режимів роботи тягової мережі, а також проведений вибір силового обладнання тягової підстанції

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка к ДП: 126 с., 14 рис., 19 табл., 26 источников

*Ключевые слова:* ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА ПОСТОЯННОГО ТОКА, ТЯГОВАЯ СЕТЬ, СОСТАВ, ЭЛЕКТРОВОЗ с АСИНХРОННЫМИ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ, ТЯГОВАЯ ЗАДАЧА, ПОДСТАНЦИЯ, СИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Рассматривается двухпутный электрифицированный участок железной дороги постоянного тока с двухсторонним питанием и постом

секционирования. Заданы профиль пути и параметры тяговой сети, параметры грузового поезда и электровоза с асинхронными тяговыми двигателями и график движения 2 поездов с заданным интервалом. Путем решения тяговой задачи определены кривые движения и энергетические показатели работы электроподвижного состава. На этой базе выполнен расчет режимов работы тяговой сети, а также произведен выбор силового оборудования тяговой подстанции.

## ЗМІСТ

(з нової сторінки)

Вступ.....	___
1 Вихідні дані і задачі проектування.....	___
2 Опис програмно-алгоритмічного комплексу .....	___
3 Рішення тягової задачі .....	___
3.1 Опис програми PotygVV .....	___
3.2 Опис програми PotygA .....	___
3.3 Результати рішення тягової задачі і їх аналіз.....	___
4 Розрахунок режимів роботи тягової мережі і підстанції .....	___
4.1 Опис програми PodTyag .....	___
4.2 Опис програми PodNap.....	___
4.3 Результати розрахунку режимів роботи тягової мережі і підстанції та їх аналіз.....	___
5 Вибір силового обладнання тягових підстанцій .....	___
5.1 Опис схеми тягової підстанції .....	___
5.2 Вибір тягових перетворюючих агрегатів.....	___
5.3 Розрахунок струмів короткого замикання.....	___
5.4 Вибір апаратури захисту .....	___
6 Економічне обґрунтування .....	___
7 Охорона праці ті навколишнього середовища.....	___

Висновок ..... —

Список джерел інформації ..... —

## ВСТУП

(з нової сторінки)

Залізничний транспорт, забезпечуючи масові сухопутні перевезення народногосподарських вантажів і пасажирів, на сьогоднішній день є одним з найважливіших видів транспорту. Електричний транспорт, як один з різновидів залізничного транспорту, здійснює більше трьох чвертей загального обсягу вантажних і пасажирських перевезень, які припадають на залізничний транспорт України.

Електричний транспорт являє собою сукупність електрорухомого складу і систем його енергопостачання. Електрорухомий склад перетворює електричну енергію в механічну, таким чином забезпечуючи переміщення складу вздовж шляху. Системи електропостачання забезпечують рухомий склад електроенергією, яка надходить в контактну мережу через тягові підстанції. Крім очевидної вимоги високої надійності, висунутої до систем тягового електропостачання, електроенергія ще повинна бути певної якості. У мережах постійного струму під цим розуміють, насамперед, постійність рівня напруги, а в мережах змінного струму ще й постійність частоти.

При русі одного поїзда по певній ділянці шляху споживана ним енергія змінюється по досить складному закону. При знаходженні на цій ділянці декількох поїздів закон зміни споживаної ними енергії в часі багаторазово ускладнюється. Це позначається на якісних показниках енергії, яка забезпечувана системою тягового електропостачання, а відтак і на тягових характеристиках локомотивів.

Уміння за допомогою математичного моделювання прогнозувати поведінку електрорухомого складу та системи електропостачання в різних ситуаціях є найважливішою кваліфікаційною ознакою бакалавра-

електромеханіка за спеціальністю електричний транспорт. Тому перед даною роботою поставлена наступна мета.

Для двоколіїної електрифікованої ділянки залізниці постійного струму з певним профілем колії, з двостороннім живленням і постом секціонування, вибрати обладнання тягової підстанції, яке забезпечить заданий графік руху поїздів із заданими параметрами составів і типами локомотивів.

Дипломна робота побудована таким чином.

У першій частині наводяться вихідні дані та формулюються завдання проектування.

У другій частині описано програмно - алгоритмічний комплекс (ПАК), який забезпечує вирішення тягового завдання, а також визначає режими роботи тягової мережі та підстанцій;

Вирішенню тягового завдання, в результаті якого отримані струмові і енергетичні характеристики рухомого складу а також системи електропостачання, присвячені третій і четвертий розділи.

Процес вибору силового обладнання тягових підстанцій наведений в п'ятому розділі.

Економічне обґрунтування бакалаврського проекту представлено в шостому розділі.

Сьомий розділ присвячений питанням охорони праці та навколишнього середовища

## 1 ВИХІДНІ ДАНІ І ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ

(з нової сторінки)

Для двоколіїної електрифікованої ділянки залізниці постійного струму з двостороннім живленням і постом секціонування з наступними параметрами тягової мережі:

- |                                     |   |        |
|-------------------------------------|---|--------|
| – номінальна напруга $U_{дн}$ , кВ  | – | 3,3;   |
| – відстань між підстанціями $l$ , м | – | 25700; |

- відстань від підстанції до поста секціонування  $l_c$ , м – 10000;
- питомий опір контактної мережі  $r_{kc}$ , Ом/м – 0,00004;
- питомий опір рейкової мережі  $r_{pc}$ , Ом/м – 0,00002
- тип підстанції – кінцева або опорна;
- параметри понижуючого трансформатора:  $S_{пн}$ , кВА – 10000;  
 $u_{кп}$ , % – 17;
- відстань від підстанції А до точки КЗ  
в тяговій мережі  $l_{кз}$ , м – 2000.

**параметрами профілю колії - наведені в табл.1.1**

Таблиця 1.1 – Параметри профілю колії

Величина	Ділянки															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$l_k$ , м	1900	1300	2400	1700	800	1700	900	2400	900	1600	2200	1600	800	2100	1300	2100
$i_k$ , ‰	0	8,1	4	-5,8	-3	-8,9	0	9,8	14	6	12	2,8	-8	-8,9	-6,9	0
$R_k$ , м	-	-	3400	400	-	-	-	1400	1900	-	-	-	1900	600	-	-
$S_{крк}$ , м	-	-	1800	700	-	-	-	1900	290	-	-	-	1200	1200	-	-

**при тязі електровозом з асинхронними тяговими двигунами і живленням від контактної мережі постійного струму з такими параметрами:**

- маса  $m_n$ , Т – 200;
- довжина  $l_n$ , м – 17;
- кількість тягових двигунів  $Kdv$  [шт.] – 6;
- передатне відношення тягового редуктора  $ти$  – 1,98.

**параметрами рухомого складу:**

- загальна кількість вагонів  $n_{об}$  – 45;
- кількість 4-осьових вагонів  $n_4$  – 45;

– маса складу  $m_c$ , т – 3200.

**параметрами руху:**

– встановлена швидкість руху поїзда  $V_{уст}$ , км/ч – 40-110;

– допустиме прискорення руху для даного типу поїзда  $a_{дон}$ , м/с<sup>2</sup> – 0,2.

і графіком руху поїздів, визначеним часом затримки відправлення всіх поїздів щодо першого \*):

– другого поїзда  $t_{зад.2}$ , с – 30;

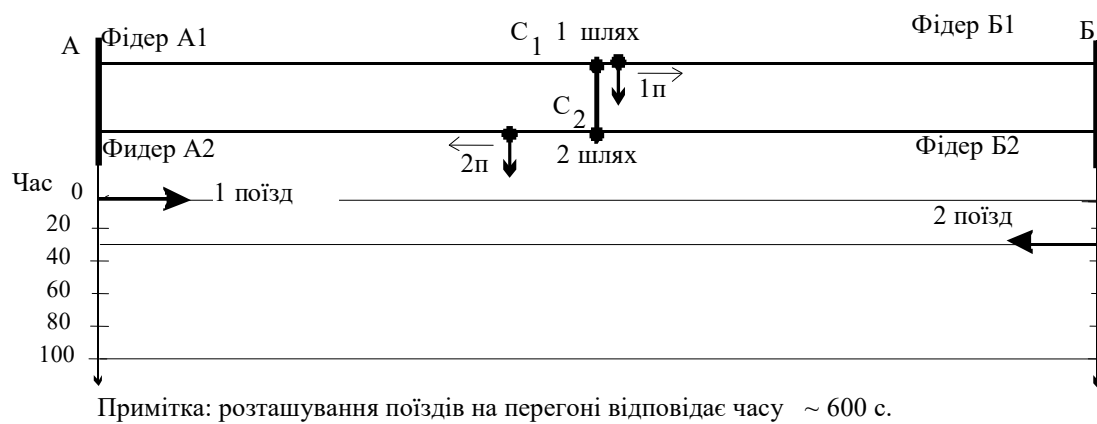


Рисунок 1.1 - Графік руху поїздів

\*) Примітка: поїзд 1 відправляється від підстанції А; 2 – від підстанції Б.

**параметрами асинхронного тягового двигуна (АТД):**

– номінальна лінійна напруга живлення  $U_{nl}$ , – 1300;

– номінальний фазний струм  $I_{nf}$ , А – 505;

– потужність тривалого режиму  $P_{nd}$ , кВт – 900;

– число пар полюсів  $p$ , – 3;

– номінальна частота струму статора  $f_n$ , Гц – 45;

– к.к.д. двигуна – 0,939;

–  $\cos \varphi$  – 0,835;

– число витків фази двигуна  $W_{vf}$  – 36;

– розрахована довжина статора  $l_{s_{рас}}$ , м – 0,465;



– діаметр розточення статора $D_{cp}$ , м	–	0,65;
– число пазів статора $n_s$	–	108;
– діаметр колеса $D_k$ , м	–	1,25;
– ширина коронки зубця статора $b_{zub}$ , м	–	0,01;
– активний опір фази статора $R_s$ , Ом	–	0,023;
– активний приведений опір фази ротора $R_{pr}$ , Ом	–	0,021;
– індуктивний опір фази статора $x_s$ , Ом	–	0,123;
– приведений індуктивний опір фази ротора $x_{pr}$ , Ом	–	0,117;
– кількість фаз тягового двигуна $m_1$ ,	–	3;
– величина повітряного зазору двигуна, мм	–	2;
– реактивний опір контуру намагнічування $x_0$ , Ом	–	3,46;
– номінальне ковзання ротора $s_n$	–	0,0122;
– номінальна частота струму ротора $f_{2n}$ , Гц	–	0,548;
– номінальний момент двигуна $M_n$ , Нм	–	9660;

**вирішити тягову задачу** і визначити криві руху, а також енергетичні показники роботи електрорухомого складу:

- швидкість поїзда  $v(t)$ ;
- пройдений шлях  $s(t)$ ;
- споживаний електровозом струм  $i_e(t)$ ;
- витрата енергії на рух  $W(t)$ .

**виконати розрахунок режимів роботи тягової мережі і тягової підстанції**, тобто визначити:

- струморозподілення між фідерами підстанцій і підстанціями від кожного із поїздів, що рухаються по ділянці;
- втрати напруги на струмоприймачі кожного електровоза;
- втрати потужності у контактній, рейковій мережах і загальні втрати потужності;
- струм поста секціонування;

- середні значення струмів, що видаються підстанціями у тягову мережу;
- діючі значення випрямлених струмів тягових підстанцій;
- повну потужність тягової підстанції, затрачену на тягу поїздів;
- максимальне значення струму кожної із підстанцій;
- струми КЗ на шинах підстанцій і в тяговій мережі.

**провести вибір силового обладнання тягової підстанції:**

- тягових перетворюючих агрегатів;
- автоматичних вимикачів і роз'єднувачів на стороні випрямленого струму.

## 2 ОПИС ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

*(з нової сторінки)*

*Відповідає підрозділу 3 посібника (стор. 22-30).*

### 3 РІШЕННЯ ТЯГОВОЇ ЗАДАЧІ

*(з нової сторінки)*

#### 3.1 Опис програми Potyag

*Відповідає підрозділу 4.1 посібника (стор. 31-36).*

#### 3.2 Блок-схема програми Potyag

*Відповідає підрозділу 4.2 посібника (стор. 36-51).*

#### 3.3 Програма Potyag

*Відповідає підрозділу 4.2 посібника (стор. 52-72).*

#### 3.4 Результати рішення тягової задачі і їх аналіз

*Відповідає підрозділу 4.3 посібника (стор.84-87).*

Результати вирішення тягової завдання наведені у вигляді графіків на рис. 3.3, де наведені швидкість поїзда  $V$ , пройдений поїздом шлях  $S$ , споживаний електровозом струм, витрата енергії на рух поїзда  $W$  і профіль колії, представлений як різниця висот між точкою відправлення і поточним положенням поїзда на перегоні  $H2 - H1$ .

Як видно з наведених результатів, при русі поїзда від підстанції А до Б швидкість в інтервалі часу від 0 до 106 с, від 216 до 366 с, від 369 до 479 с, від 480 до 526 с, від 743 до 860 с, від 1015 до 1054 с, від 1119 до 1219 с,

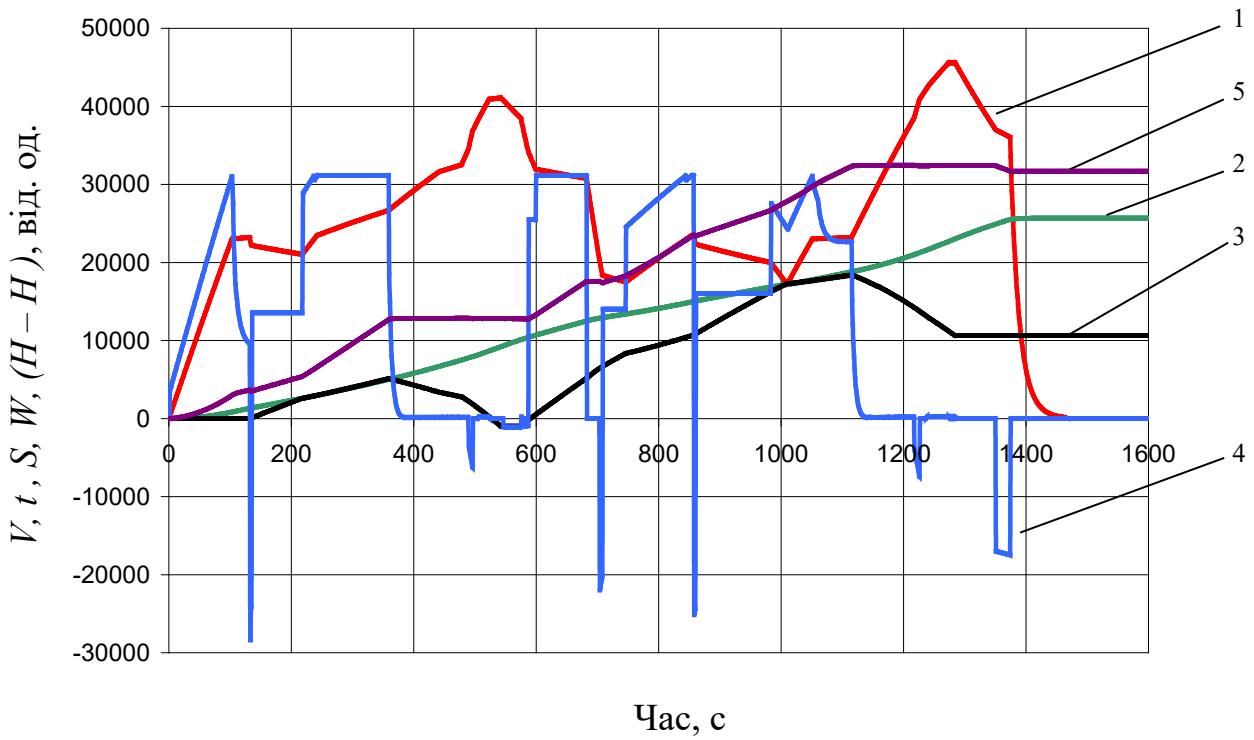
від 1220 до 1279 зростає до заданої 57, 67, 81, 102, 55, 57, 97, 113 км/год. Відповідно від 132 до 140 с, від 140 до 220 с, від 540 до 576 с, від 577 до 603 с, від 604 до 683 с, від 684 до 713 с, від 860 до 1014 с, від 1286 до 1374 швидкість монотонно знижується до 55, 53, 95, 79, 45, 44, 90 відповідно що пов'язано зі зниженням завдання швидкості руху. Від 106 до 133 с, від 522 до 545 с, від 712 до 737 с, від 1056 до 1119 с, від 1272 до 1287 с, від 1356 до 1374 с швидкість дотримується на заданому рівні відповідно 56, 102, 44, 46, 113, 114 км/год. Від 1374 до 1470 с відбувається зупинкове гальмування, при цьому швидкість знижується до нуля.

При русі від підстанції Б до підстанції А в інтервалах часу від 31 до 126 с, від 233 до 319 с, від 560 до 596 с, від 600 до 660 с, від 664 до 730 с, від 731 до 900 с, від 1210 до 1268 с швидкість монотонно зростає до 50, 56, 58, 63, 103, 134, 90 км/год відповідно, що визначається за графіком руху. Від 319 до 478 с, від 900 до 919 с, від 920 до 974 с, від 981 до 1018 с, від 1265 до 1335 с швидкість монотонно знижується до 36, 131, 77, 79, км/год відповідно, що пов'язано зі зниженням завдання швидкості руху. Від 123 до 238 с, від 479 до 558 с, від 1010 до 1060 с, від 1061 до 1110 с, від 1250 до 1268 с швидкість підтримується рівною заданій відповідно 50, 35, 77, 76, 90 км/год. Від 1335 до 1438 с відбувається зупинкове гальмування, при цьому швидкість знижується до нуля. Решту часу потяги рухаються з постійною заданою швидкістю.

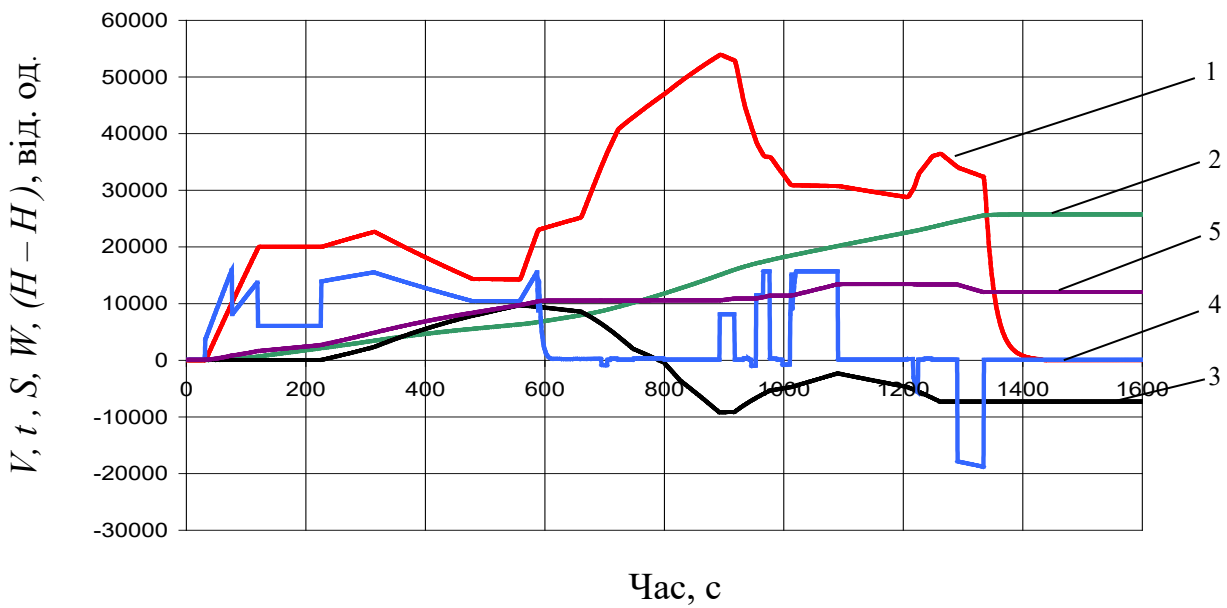
Крива залежності пройденого шляху являє собою монотонно зростаючу пряму. Швидкість наростання цієї кривої визначається поточною швидкістю поїзда.

Споживання струму електровозом має максимальне значення 3117 А при русі на підйомі (при русі від підстанції А до Б) і 1584 А (при русі від підстанції Б до А). Результат вирішення тягової задачі при русі поїзда

від підстанції А до підстанції Б



Результат вирішення тягової задачі при русі поїзда  
від підстанції Б до підстанції А



(1 - швидкість · 400, км / год; 2 - шлях · 5, м; 3 - профіль колії, м; 4 - струм електровоза · 10, А; 5 - витрата енергії · 20,кВт·год)

Рисунок 3.3 – Криві руху поїзда

У режимі рекуперативного гальмування спостерігаються негативні кидки струму до 1746 А (при русі від підстанції А до Б) і 1889 А (при русі від підстанції Б до А ). Вочевидь споживання енергії має місце лише при русі електровоза під струмом. При розгоні від підстанції А споживання енергії становить порядку 155 кВт · год , а від підстанції Б - 78 кВт · год. Другий етап споживання електроенергії поїздами має місце при подоланні підйомів . Загальна витрата енергії при русі від підстанції А до Б становить 1585 кВт · год , а від підстанції Б до А - 594 кВт · год. Це пов'язано з профілем шляху.

## 4 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ І ПІДСТАНЦІЇ

(з нової сторінки)

### 4.1 Опис програми PodTuag

*Відповідає підрозділу 5.1 посібника (стор.88-91).*

### 4.2 Блок-схема програми PodTuag

*Відповідає підрозділу 5.1 посібника (стор. 92-98).*

### 4.3 Опис програми PodNap

*Відповідає підрозділу 5.2 посібника (стор.99-103).*

### 4.4 Блок-схема програми PodNap

*Відповідає підрозділу 5.2 посібника (стор.104-115).*

### 4.5 Результати розрахунку режимів роботи тягової мережі і підстанції і їх аналіз

*Відповідає підрозділу 5.3 посібника (стор.116-118).*

Миттєві значення струмів в фідерах (рис.4.1 а, б, в, г, д, е) коливаються в межах від - 321 до 3018 А. На цих кривих чітко помітні імпульси струму, пов'язані з часом відправлення поїздів і споживанням цими поїздами струмів при їх розгоні. Амплітуда кожного наступного імпульсу монотонно зростає. Це зумовлено збільшенням кількості поїздів, що відправляються з розглянутої станції. При цьому абсолютно чітко проглядається суттєва зміна навантаження на фідер при проходженні поїздами поста секціонування - імпульси струму на фідерах 1А, 2Б зменшуються, а на 2А, 1Б - зростають. Найбільше навантаження на фідері

спостерігається в той проміжок часу, коли на цій фідерної зоні розганяються поїзди. Загальний струм підстанції А досягає максимального значення 3018 А, а підстанції Б - 2539 А, і являє собою суму струмів відповідних фідерів. Негативні викиди струмів фідерів і підстанцій викликані струмами рекуперації електровозів.

Значення струму, що протікає через пост секціонування (рис.4.2), визначається різницею рівнем навантаження контактних проводів обох шляхів перегону. Струм через пост секціонування спрямований до того контактного проводу, на якому має місце більше навантаження.

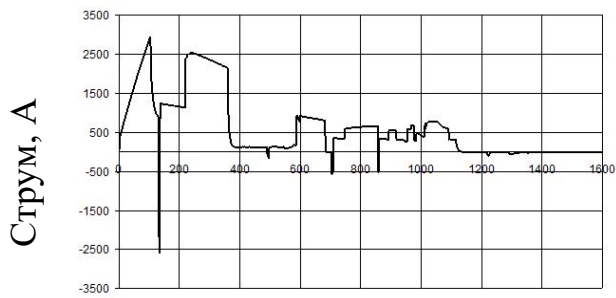
Втрати потужності в мережі (рис.4.3) носять суттєво змінний характер. Максимум втрат в тяговій мережі спостерігаються на 1051 с і досягає значення 4222 кВт.

Струми підстанцій, що отримані в результаті рознесення струмів електровозів поїздів, наведено в табл. 4.3.

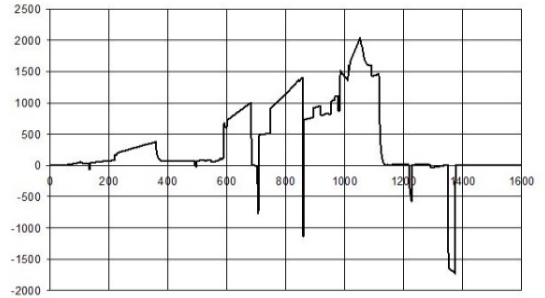
Як видно з таблиці, струми підстанції А трохи більше струмів підстанції Б, це відбувається тому що від підстанції А відправляється більше потягів, ніж від підстанції Б.

Таблиця 4.3 – Характеристики тягових підстанцій

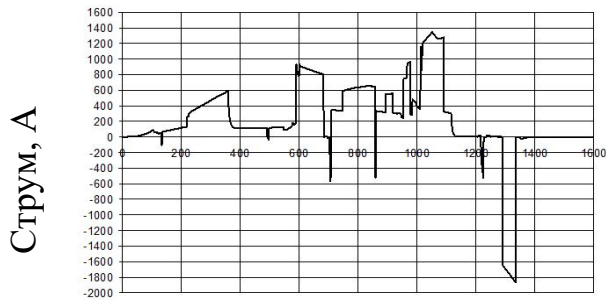
Підстанція	А	Б
Середній струм підстанції $I_{cp(A,B)}$ , А	656.71	650.53
Діючі значення струму підстанції $I_{(A,B)}$ , А	1181.81	1012.21
Максимальне значення струму підстанції $i_{Пmax}$ , А	3018.75	2539.34
Потужність підстанції $S_{ПП}$ , кВт	2929.24	2039.68
Максимальне значення струму фідера 1 $i_{ф1max}$ , А	1343.48	1592.48
Максимальне значення струму фідера 2 $i_{ф2max}$ , А	4094.99	3507.32



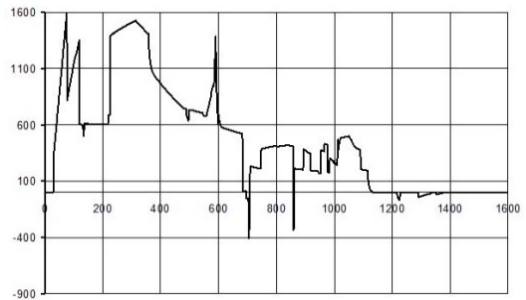
а)



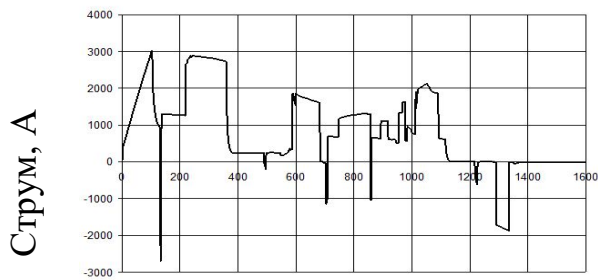
б)



в)

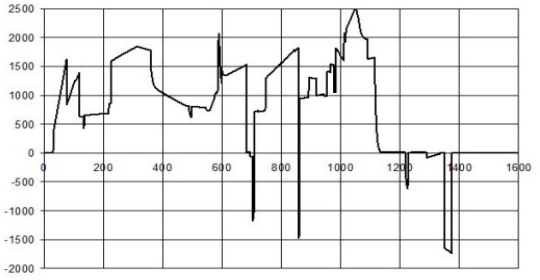


г)



д)

Час, с



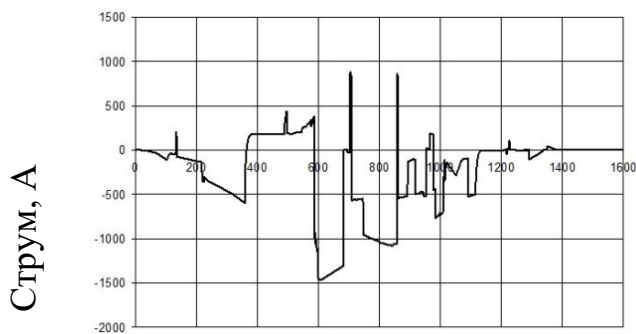
е)

Час, с

а, б – фідер 1 підстанції А і Б; в, г – фідер 2 підстанції А і Б;

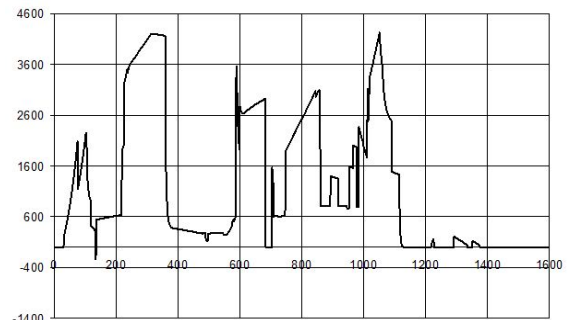
д, е – підстанція А і Б

Рисунок 4.1 – Струми фідерів підстанції



Час, с

Рисунок 4.2 – Струм поста секціонування



Час, с

Рисунок 4.3 – Втрати потужності у тяговій мережі

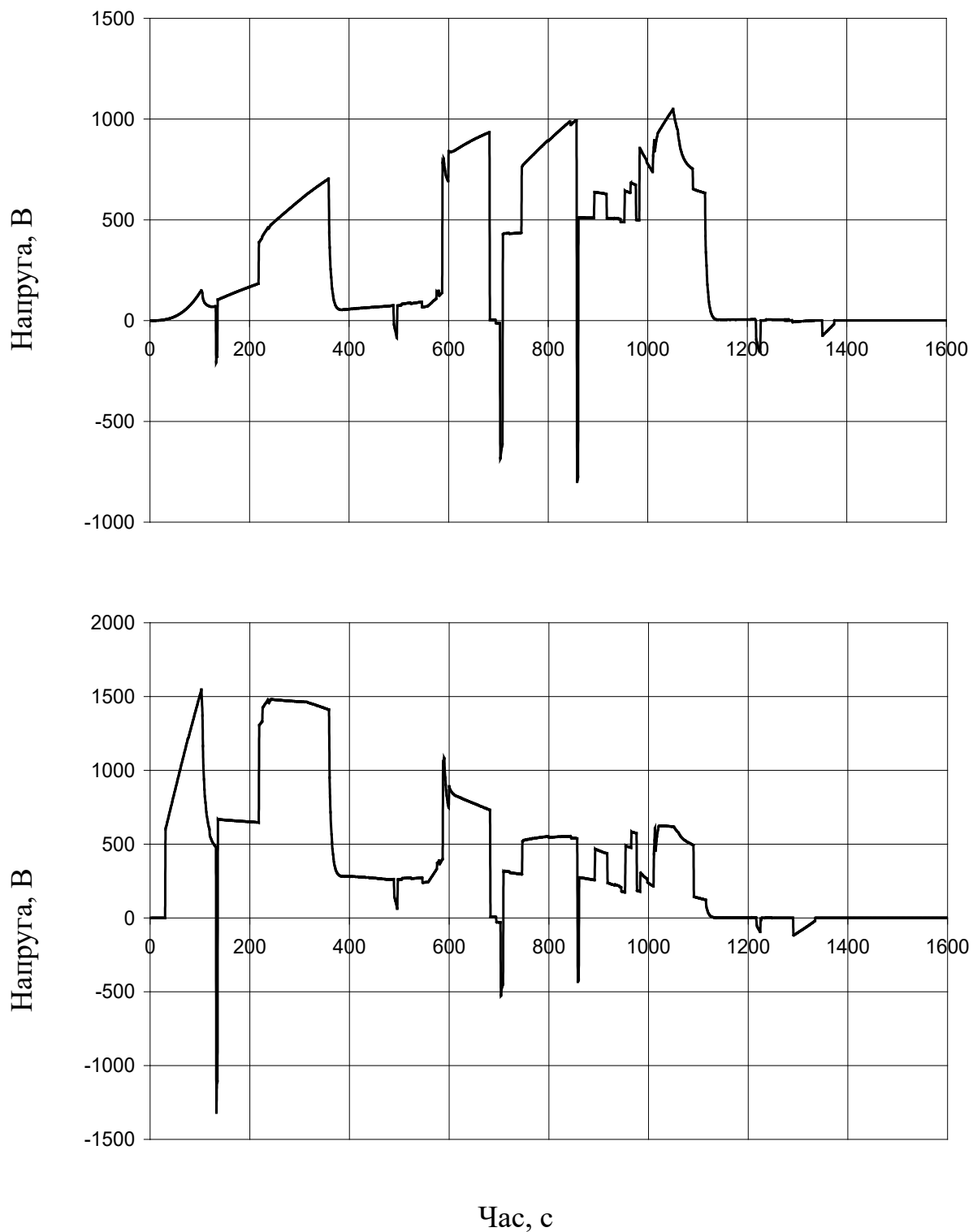


Рисунок 4.4 – Втрати напруги на струмоприймачі

Що стосується втрат напруги на струмоприймачах електровозів (рис.4.4), то слід зазначити, що їх рівень досягає величини 1546 В, причому проглядається явна залежність цього показника як від характеру зміни струмів електровозів, так і від відстані електровозів до підстанцій.



## 5 ВИБІР СИЛОВОГО УСТАТКУВАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

(з нової сторінки)

### 5.1 Опис схеми тягової підстанції

*Відповідає підрозділу 6.1 посібника (стор. 119-120).*

### 5.2 Вибір перетворюючих агрегатів

Визначаємо необхідну повну потужність перетворюючих агрегатів за такими формулами.

Якщо мова йде про кінцеву тягову підстанцію, то

$$S_t = 1,05 \cdot U_{дн} \cdot I_{(A,B)}, \quad (5.1)$$

де  $S_t$  – повна потужність перетворюючих агрегатів МВт;

$U_{дн}$  – номінальна випрямлена напруга на шинах підстанції, кВ,

$I_{(A,B)}$  – діюче значення струму тягової підстанції, кА.

$$S_t = 1,05 \cdot 3300 \cdot 1181,81 = 4,095 .$$

Якщо мова йде про опорну тягову підстанцію, то ми припускаємо, що примикаючі до розглянутої опорної підстанції міжстанційні зони за енергетичними показниками ідентичні. Тоді необхідна повна потужність перетворюючих агрегатів визначається за формулою

$$S_t = 1,05 \cdot U_{дн} \cdot (I_A + I_B), \quad (5.2)$$

де  $S_t$  – повна потужність перетворюючих агрегатів МВт;

$U_{дн}$  – номінальна випрямлена напруга на шинах підстанції, кВ,

$I_{(A,B)}$  – діючі значення струмів тягової підстанції, кА.

$$S_t = 1,05 \cdot 3300 \cdot (1181,81 + 1012,21) = 7,602 .$$

Визначаємо потужність окремого перетворювального агрегату підстанції. Виходячи з того, що число перетворюючих агрегатів з метою забезпечення надійності роботи тягової підстанції повинно бути не менше двох, знаходимо розрахункову потужність перетворюючого агрегату за формулою

$$S_{ПА} = S_t / N_{ПА}, \quad (5.3)$$

для кінцевої тягової підстанції  $S_{ПА} = 4,095/2 = 2,047$  МВА;

для опорної тягової підстанції  $S_{ПА} = 7,602/2 = 3,801$  МВА.

Номинальну потужність  $S_{ПАН}$  і тип перетворюючого агрегату визначаємо за таблицею 5.1 за умовою  $S_{ПАН} \geq S_{ПА}$ . Для кінцевої тягової підстанції вибираємо перетворювальний агрегат ПВЭ-2,  $S_{ПАН} = 4950$  кВА, для опорної – ПВЭ-2,  $S_{ПАН} = 4950$  кВА.

У таблиці 5.1 наведено основні технічні характеристики перетворюючих агрегатів, які застосовуються на тягових підстанціях залізниць постійного струму. Всі агрегати мають випрямлену напругу 3,3 кВ при номінальному навантаженні і виконані за схемою дві зворотні зірки зі зрівняльним реактором. Навантаження тягових підстанцій і їх перетворюючих агрегатів змінюється в процесі експлуатації. Для правильного вибору їх потужності необхідно мати в своєму розпорядженні дані щодо перевантажувальної здатності агрегатів, які наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні технічні характеристики перетворюючих агрегатів

Перетворювальний агрегат				Трансформатор			
Тип	Потужність, $S_{ПАН}$ , кВт	Номинальний випрямлений струм, $I_{дн}$ , А	Перевантажувальна здатність	Тип	Потужність, $S_{ПТ}$ , кВА	Напруга мережевих обмоток, кВ	Напруга к.з., $u_k$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8
УВК Э-1	9900	3000	25%-15хв, 50%-1хв	ТМРУ - 16000/ 10	11100	6,0 10,0	7,0

1	2	3	4	5	6	7	8
ПВЭ-2	4950	1500	20%-15хВ, 50%-1хВ	УМРУ- 6300/35	3700	6,3 10,5 35,0	7,7 7,7 8,2
ВИП Э	6600	2000	80%-15хВ	ТМРУ- 16000/1 0Ж	11840	6,0 10,0	7,35

Правильність прийнятого рішення перевіряємо за виконанням умови

$$I_{(A,B)} / N_{ПА} \leq I_{дн}, \quad (5.4)$$

де  $I_{дн}$  – номінальний випрямлений струм прийнятого типу перетворюючого агрегату по таблиці 5.1, А.

Для опорної підстанції  $1012,21/2 = 506,105 \leq 1500$

Для кінцевої підстанції  $1181,81/2 = 590,905 \leq 1500$

Таким чином, вибір зроблений вірно.

### 5.3 Розрахунок струмів короткого замикання

#### 5.3.1 Розрахунок струмів короткого замикання на шинах 3,3 кВ.

Визначаємо максимальний сталий струм к.з. на шинах РУ 3,3 кВ

$$I_k = \frac{1,1 \cdot I_{дн} \cdot N}{\sum \frac{S_{ПТ}}{S_k} + \frac{u_{кт}}{100}}, \quad (5.5)$$

де  $\sum S_{ПТ}$  – номінальна потужність всіх трансформаторів випрямляючих перетворювачів, МВ·А;

$S_k$  – потужність к.з. на шинах, від яких живляться трансформатори випрямляючих перетворювачів, приймаємо рівною 500 МВА [2];

$u_{кт}$  – напруга к.з. цих трансформаторів, %.

Найбільше значення струму (ударний струм) визначається як:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k, \quad (5.6)$$

де  $K_y$  – ударний коефіцієнт, для мереж з напругою понад 1000 В

приймається рівним 1,8.

$$\text{для опорної } I_k = \frac{1,1 \cdot 1500 \cdot 2}{\frac{4 \cdot 3,7}{500} + \frac{3,7}{100}} = 35,95 \text{ кА}, \quad i_\phi = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 35,95 = 91,51 \text{ кА};$$

$$\text{для кінцевої } I_k = \frac{1,1 \cdot 1500 \cdot 2}{\frac{4 \cdot 3,7}{500} + \frac{7,7}{100}} = 30,96 \text{ кА}, \quad i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 30,96 = 78,81 \text{ кА}.$$

6.3.2 Розрахунок струмів короткого замикання на фідері тягової підстанції.

Для двоколіїної ділянки з постом секціонування найбільш загальним буде випадок, коли при к.з. вимикачі підстанції та посту секціонування ще залишаються увімкненими. Цьому відповідає розрахункова схема, що наведена на рисунку 5.2.

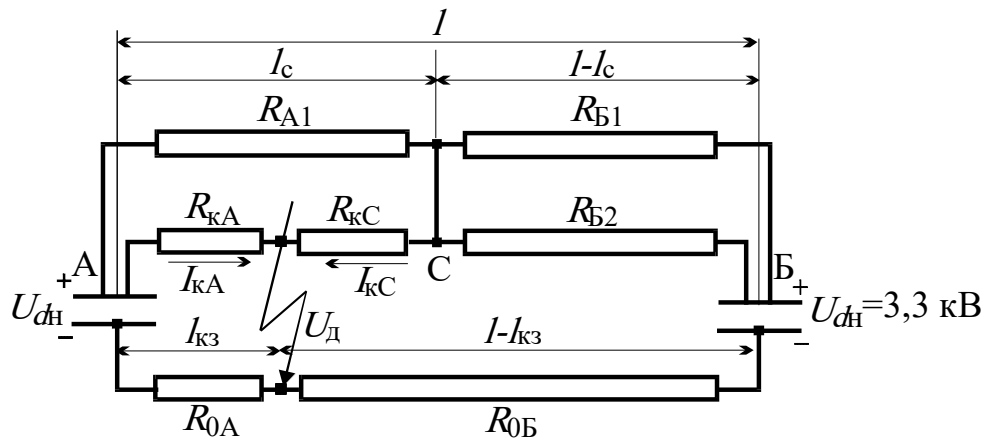


Рисунок 5.3 – Схема заміщення тягової мережі для розрахунку струмів к.з.

Згідно з розрахунковою схемою (рисунок 5.3) і формулами (5.7) – (5.23) визначаємо величини, що входять в розрахунок струмів к.з.

$$\rho_{(A,B)} = 0,01 \cdot A \cdot U_{dH}^2 \cdot \left( \frac{u_{кп}}{n_{тп} S_{нп}} + \frac{u_{кт}}{n_{тт} S_{нт}} + \frac{100}{S_{к.з.}} \right), \quad (5.7)$$

$$R_{0B} = r_p (l - l_{кз}) + \rho_B \text{ Ом}, \quad (5.8)$$

$$R_{0A} = r_p l_{кз} + \rho_A \text{ Ом}, \quad (5.9)$$

$$R_{кС} = r_{к.с.} (l_c - l_{кз}) \text{ Ом}, \quad (5.10)$$

$$R_{кА} = R_{\phi A2} + r_{к.с.} \cdot l_{кз} \text{ Ом}, \quad (5.11)$$

$$R_{Б2} = R_{фБ2} + r_{к.с.} (l - l_c) \text{ Ом}, \quad (5.12)$$

$$R_{Б1} = R_{фБ1} + r_{к.с.} (l - l_c) \text{ Ом}, \quad (5.13)$$

$$R_{А1} = R_{фА1} + r_{к.с.} \cdot l_c \text{ Ом}, \quad (5.14)$$

$$\alpha_A = \frac{R_{кА}}{R_{А1}} \text{ Ом}, \quad (5.15)$$

$$\alpha_C = \frac{R_{кС}}{R_{А1}} \text{ Ом}, \quad (5.16)$$

$$R_B = \frac{R_{Б1} R_{Б2}}{R_{Б1} + R_{Б2}} + R_{0Б} \text{ Ом}, \quad (5.17)$$

$$r_{С1} = \alpha_C R_{0А} \text{ Ом}, \quad (5.18)$$

$$r_{А1} = \alpha_A R_B \text{ Ом}, \quad (5.19)$$

$$r_{А2} = R_{кА} + (1 + \alpha_A) R_{0А} \text{ Ом}, \quad (5.20)$$

$$r_{С2} = R_{кС} + (1 + \alpha_C) R_B \text{ Ом}, \quad (5.21)$$

$$\gamma = r_{А2} \cdot r_{С2} - r_{А1} \cdot r_{С1} \text{ Ом}^2, \quad (5.22)$$

$$U_P = \eta \cdot U_{дн} - U_{д} \text{ кВ}, \quad (5.23)$$

де  $A$  – коефіцієнт комутації, що дорівнює 0,5;

$u_{кп}$  – напруга к.з. знижувального трансформатора, %;

$u_{кт}$  – напруга к.з. тягового трансформатора, %;

$n_T$  – кількість паралельно працюючих трансформаторів;

$S_H$  – номінальна потужність трансформатора, МВА;

$S_{к.з.}$  – потужність к.з. на вводах тягової підстанції, МВА;

$U_{д}$  – падіння напруги в дузі, приймається рівним 200 В;

$R_{фА1}, R_{фА2}, R_{фБ1}, R_{фБ2}$  – опори фідерів першої та другої колії підстанції

А і Б, приймаються рівними 0,2 Ом;

$R_{0А}, R_{0Б}$  – опір відсмоктувальних фідерів А і Б;

$\rho_A, \rho_B$  – еквівалентні опори підстанцій А і Б.

У виразі (5.9) величини з індексом «п» відносяться до знижувальних трансформаторів, а з індексом «т» - до тягових.

$$\rho_{(A,B)} = 0,01 \cdot 0,5 \cdot 3,3^2 \left( \frac{7,7}{2 \cdot 3,7} + \frac{7,7}{4 \cdot 3,7} + \frac{100}{500} \right) = 0,096,$$

$$R_{0B} = 0,02(20 - 2) + 0,096 = 0,466 \text{ Ом},$$

$$R_{0A} = 0,02 \cdot 2 + 0,096 = 0,136 \text{ Ом},$$

$$R_{кC} = 0,04(10 - 2) = 0,32 \text{ Ом},$$

$$R_{кA} = 0,2 + 0,04 \cdot 2 = 0,28 \text{ Ом},$$

$$R_{B2} = 0,2 + 0,04(20 - 10) = 0,62 \text{ Ом},$$

$$R_{B1} = 0,2 + 0,04(20 - 10) = 0,62 \text{ Ом},$$

$$R_{A1} = 0,2 + 0,04 \cdot 10 = 0,6 \text{ Ом},$$

$$\alpha_A = 0,28 / 0,6 = 0,467 \text{ Ом},$$

$$\alpha_C = 0,32 / 0,6 = 0,533 \text{ Ом},$$

$$R_B = \frac{0,62 \cdot 0,62}{0,62 + 0,62} + 0,466 = 0,775 \text{ Ом},$$

$$r_{C1} = 0,533 \cdot 0,136 = 0,072 \text{ Ом},$$

$$r_{A1} = 0,467 \cdot 0,775 = 0,362 \text{ Ом},$$

$$r_{A2} = 0,28 + (1 + 0,467) \cdot 0,136 = 0,479 \text{ Ом},$$

$$r_{C2} = 0,32 + (1 + 0,533) \cdot 0,775 = 1,509 \text{ Ом},$$

$$\gamma = 0,479 \cdot 1,509 - 0,362 \cdot 0,072 = 0,697 \text{ Ом}^2,$$

$$U_p = 0,95 \cdot 3,3 - 0,2 = 2,935 \text{ кВ},$$

За формулами (5.24) (5.25) визначаємо струми  $I_{кA}$  і  $I_{кC}$ , що притікають до місця к.з. відповідно від підстанції А та з боку поста секціонування

$$I_{кA} = \frac{(r_{C2} + r_{C1})U_p}{\gamma} \text{ кА}, \quad (5.24)$$

$$I_{кA} = \frac{1,509 + 0,072}{0,697} \cdot 2,935 = 6,659 \text{ кА},$$

$$I_{кC} = \frac{(r_{A2} + r_{A1})U_p}{\gamma} \text{ кА}, \quad (5.25)$$

$$I_{кC} = \frac{0,479 + 0,362}{0,697} \cdot 2,935 = 3,542 \text{ кА}.$$

## 5.4. Вибір апаратури захисту

### 5.4.1 Вибір швидкодіючих вимикачів постійного струму

При виборі типу вимикача слід враховувати в якому колі передбачається встановити вимикач (після випрямляча або на фідері контактної мережі).

Для вибору ШВ треба знати:

- найбільший струм відключення ШВ  $I_{н.откл}$  ;
- номінальний тривалий струм  $I_n$  ;
- номінальну напругу  $U_n$  .

Для вибору ШВ на шинах 3,3 кВ знаходимо:

- найбільший струм відключення за формулою

$$I_{н.откл} \geq k \cdot I_k, \quad (5.26)$$

де  $I_k$  – сталий струм к.з, на шинах випрямленої напруги підстанцій, визначається з розрахунків за формулою (5.5), а для фідерів за формулами (5.24) і (5.25), кА

$k$  – коефіцієнт, що враховує струмообмежувальним ефект ви-  
перемикача, приймається  $k = 0,6 \dots 0,7$  [3].

$$I_{н.откл} \geq 0,6 \cdot 30,96 = 18,57,$$

номінальний тривалий струм за формулою

$$I_n \geq i_{п.мах} = \frac{902}{2} = 451, \quad (5.27)$$

де  $i_{п.мах} = 3018,75$  - максимальне значення струму підстанції, визначається згідно таблиці 4.1, А;

$$\text{Номінальна напруга } U_n \geq U_p = 3,3 \dots 4,1 \text{ кВ}, \quad (5.28)$$

По таблиці 5.2, згідно з отриманими результатами, вибираємо швидкодіючий вимикач ВАБ-43-4000/30-Л-У4 ( $I_n = 4000$  А,  $I_{н.откл} = 27000$  А).

Для вибору ШВ на фідері підстанції знаходимо:

найбільший струм відключення за формулою (5.26)

$$I_{\text{н.откл.}} = k \cdot I_k \text{ кА};$$

$$I_{\text{н.откл.}} = 6,659 \cdot 0,6 = 3,096 \text{ кА};$$

Таблиця 5.2 – Технічні дані швидкодіючих вимикачів постійного струму [4]

Тип вимикача	Номинальний струм $I_{\text{н}}$ , А	Межі струму уставки $I_{\text{уст}}$ , А	Найбільше значення відключався струму $I_{\text{н.откл}}$ , А	Повний час відключення вимикача в ланцюзі з максимальним значенням відключався аварійного струму, с
АБ-2/4	2000	4000	20000	0,08
ВАБ-28-3000/30-К	3000	6000	15000	0,04
ВАБ-28-3000/30-Л	3000	6000	15000	0,045
ВАБ-43-4000/30-Л-У4	4000	5000	27000	0,05

номінальний тривалий струм за формулою (5,27)

$$I_{\text{н}} = i_{\text{фmax}} = 4094.99 \text{ А};$$

де  $i_{\text{фmax}} = 4094.99 \text{ А}$  (визначається з кривих, наведених на малюнку 4.1);

номінальну напругу за формулою (5.28)

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{р}} = 3,3 \dots 4,1 \text{ кВ.}$$

З таблиці 5.2, згідно з отриманими результатами, вибираємо швидкодіючий вимикач ВАБ-28-3000/30-К ( $I_{\text{н}} = 3000 \text{ А}$ ,  $I_{\text{н.откл.}} = 15000 \text{ А}$ ).

#### 5.4.2 Вибір роз'єднувачів

При виборі конструкції роз'єднувачів слід враховувати місце розташування роз'єднувача.



Будемо проводити вибір роз'єднувачів на шинах 3,3 кВ і на фідері підстанції А.

Для вибору роз'єднувача треба знати:

- номінальну напругу  $U_n$  ;
- ефективний струм роз'єднувача (наскрізний струм роз'єднувача)  $I_n$  ;
- амплітудне значення наскрізного струму к.з.  $I_{pmax}$  ;
- граничний струм термічної стійкості  $I_{тер.норм.}$  .

Для вибору роз'єднувачів знаходимо:

- ефективний струм роз'єднувача
  - для шини 3,3 кВ  $I_n = I_k = 30,96$  кА
  - для фідера  $I_n = I_{кА} = 6,659$  кА.
- амплітудні значення наскрізних струмів
  - для шини 3,3 кВ  $I_{pmax} = i_y = 78,81$  кА;
  - для фідера  $I_{pmax} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{кА} = 16,952$  кА

Технічні дані роз'єднувачів наведені в таблиці 5.3.

По таблиці 5.3 вибираємо для установки після випрямляча перед шинами 3,3 кВ і в фідерах роз'єднувач РВК-10/2000.

Таблиця 5.6 – Технічні дані роз'єднувачів

Тип	Найбільша робоча напруга, $U_n$ , кВ	Граничний наскрізний струм, $I_n$ , кА	Струм термічної стійкості протягом 4с, $I_{тер.норм.}$ , кА
РВ-10/1000	11,5	71/120*	40
РВК-10/2000	11,5	50/85*	36
РВК-10/3000	11,5	120/200*	60
РВК-10/4000	11,5	120/200*	65

\*) в чисельнику вказано ефективне значення граничного струму, в знаменнику - амплітудне.

Вибрані роз'єднувачі треба перевірити:

- по номінальній напрузі (робоча напруга РУ  $U_p$  – 3,3 кВ)

$$U_n \geq U_p, 11,5 \geq 3,3 \text{ кВ}, \quad (5.29)$$

- по номінальному струму роз'єднувача (ефективне значення струму)

$$I_n > I_{pmax}, \quad (5.30)$$

- для шини 3,3 кВ  $50 \text{ кА} > 30,96 \text{ кА},$

- для фідера  $50 \text{ кА} > 6,659 \text{ кА},$

- по електродинамічній стійкості

$$I_{HT} > i_y, \quad (5.31)$$

- для шини 3,3 кВ  $85 \text{ кА} > 78,81 \text{ кА},$

- для фідера  $85 \text{ кА} > 16,952 \text{ кА},$

- по термічній стійкості [5]

$$B_k \leq B_{\text{терм.доп.}}, \quad (5.32)$$

Тут  $B_k$  – фактичне значення інтеграла Джоуля,  $\text{кА}^2\text{с},$

$$B_k = I_k^2 \cdot t_{\text{откл}}, \quad (5.33)$$

$B_{\text{терм.доп.}}$  – дозволене значення інтеграла Джоуля,  $\text{кА}^2\text{с},$

$$B_{\text{терм.доп.}} = I_{\text{терм.норм.}}^2 \cdot t_{\text{терм.норм.}}, \quad (5.34)$$

$t_{\text{откл}}$  – розрахункова тривалість к.з., яка приймається рівною гранично

допустимому часу впливу нормованого струму термічній стійкості  $t_{\text{тер.норм.}}$

(приймається рівною 4 с).

$I_{\text{терм.норм.}}$  – нормований струм термічній стійкості перевіряється апарату.

- для шини 3,3 кВ  $B_k = 30,96^2 \cdot 4 = 3834 \text{ кА}^2\text{с},$

$$B_{\text{терм.доп.}} = 36^2 \cdot 4 = 5184 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$3834 \text{ кА}^2\text{с} < 5184 \text{ кА}^2\text{с};$$

- для фідера  $B_k = 6,659^2 \cdot 4 = 177,38 \text{ кАс},$

$$B_{\text{терм.доп.}} = 36^2 \cdot 4 = 5184 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$177,38 \text{ кА}^2\text{с} < 5184 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Таким чином зрозуміло, що обрані роз'єднувачі задовольняють необхідним вимогам.

## 6 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

(з нової сторінки)

*(склад розділу визначається згідно завдання профілюючої кафедри)*

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

(з нової сторінки)

*(склад розділу визначається згідно завдання профілюючої кафедри)*

## ВИСНОВОК

(з нової сторінки)

В ході виконання дипломного проекту вирішена тягова задача, виконаний розрахунок режимів роботи тягової мережі і тягової підстанції, а також проведений вибір силового обладнання тягової підстанції

Встановлено, що для вантажних поїздів 45 вагонами масою  $3200 \cdot 10^3$  кг і електровозів з асинхронними тяговими двигунами на шляху довжиною 25,7 км, де уклон змінюється в межах від -8,9 до +14 %, витрата енергії при русі зі швидкістю від 40 до 110 км/год складає 594 ... 1585 кВт/год, Максимальне споживання струму становить величину 3117 А.

Знайдено, що при двосторонньому живленні цієї ділянки при графіку руху двох поїздів з інтервалом 10 с середній струм підстанції знаходиться в межах 650.53 ... 656.71 А, діюче значення 1012.21 ... 1181.81 А, максимальне – 2539.34 ... 3018.75 А, а потужність, споживана на тягу, становить 2039.68 ... 2929.24 кВт, При цьому максимальне значення втрат напруги на струмоприймачах коливається в межах 1048,73 ... 1546,04 В.

Для опорної і кінцевої тягової підстанції обрані два перетворюючих агрегати ПВЕ-2 потужністю 4950 кВт з випрямленим струмом 1500 А, Струми короткого замикання на шинах 3,3 кВ для опорної тягової

підстанції становлять величину 91,51 кА, а для кінцевої 78,81 кА, у разі короткого замикання в тяговій мережі на відстані 2 км від підстанції а струми, що притікають до місця КЗ від підстанції, складають 6,659 кА, а від поста секціонування - 3,542 кА, В якості апаратури захисту на шинах 3,3 кВ обрані швидкодіючі вимикачі АБ-2/4 з номінальним струмом 2000 А, струмом уставки 4000 А і найбільшим значенням струму, що відключається 20000 А і часом відключення 0,08 с, В якості комутаційної апаратури силових ланцюгів обрані роз'єднувачі РВК-10/2000 номінальною напругою 11,5 кВ з ефективним значенням граничного наскрізного струму 85 кА і струмом термічної стійкості 36 кА.

Також розглянуті питання охорони праці та навколишнього середовища. Проведено економічне обґрунтування дипломної роботи.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

(з нової сторінки)

1. Основи електричної тяги, режими роботи електрорухомого складу постійного струму з асинхронним тяговим двигуном. для студентів спеціальності 6.050702 електричний транспорт усіх форм навчання : Навч.-метод. посібн. / Любарський Б.Г., Овер'янова Л.В., Якунін Д.І., Демидов О.В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – 205 с.

2. Бобирь Д. В., Грищенко М. А., Сердюк В. Н. Теорія локомотивної тяги : підручник / Під ред. к-та техн. наук, доц. В. Н. Сердюка; УДУНТ; ННІ «Дніпров. ін-т інфраструктури і трансп.». – Дніпро, 2014. – 385 с.

3 В.І. Омеляенка, М.М. Калюжного, Г.В. Омеляненко, Б.Г. Любарського «Основи електричної тяги, системи та режими тягових мереж постійного струму» / Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – 162с.

4 Толочко О. І. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2013. – 150 с.

5. Моделювання електромеханічних систем: підручник / Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й. – Кременчук, 2001. – 410 с.
6. Любарський Б. Г. Моделювання об'єктів електричного транспорту / Б. Г. Любарський, О. М. Дубініна – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – 223 с.
7. Andreas Steimel. Electric Traction – Motive Power and Energie Supply. Basics and Practical Experience. Oldenburg Industrieverlag München, 2008. - 334p.

### **Контрольні запитання**

1. Зі скількох розділів складається дипломна робота бакалавра?
2. Які основні характеристики тягової підстанції необхідно визначити в роботі?
3. Які характеристики руху поїздів визначаються за результатами рішення тягової задачі?
4. Які складові містить в собі висновок дипломної роботи бакалавра?
5. З яких джерел студент отримує інформацію про розділи економічне обґрунтування й охорони праці та навколишнього середовища?

## ВИСНОВКИ

Викладені в навчальному посібнику математичні моделі, що описують процеси в досліджуваній системі тягового електропостачання постійного струму, засновані на ряді спрощуючих допущень. До них відносяться: постійність напруги на контактному дроті (хоча і показано, що втрати напруги на струмоприймачах різних електровозів досягають відчутної величини); безінерційність електричної системи «Електровоз – тягова мережа», що обумовлює стрибкоподібну зміну струму, споживаного електровозом; однотипність електрорухомого складу, задіяного в русі по заданій ділянці шляху і так далі.

Ми вважаємо це цілком прийнятним з таких міркувань. Навчальний план підготовки бакалаврів, фахівців і магістрів за фахом 05070203 – «Електричний транспорт» на кафедрі Електричного транспорту і тепловозобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» складений таким чином, що після захисту диплому бакалаври, продовжуючи освіту до рівня фахівців або магістрів, можуть обрати вивчення одного з двох блоків дисциплін : «Рухомий склад електричного транспорту» або «Електропостачання електричного транспорту». Для першого напрямку, де основною метою навчання на етапі підготовки фахівця або магістра є розрахунки і конструювання устаткування електропересувного складу з потрібними тяговою і струмовою характеристиками, почерпнутих з виконаного проекту відомостей про взаємодію електропересувного складу і мережі тягового електропостачання, вважаємо більш ніж достатньо.

За наявності бажання бакалаврів продовжити свою подальшу освіту відповідно до блоку дисциплін «Електропостачання рухомого складу», врахуємо, що математичну модель і ПАК «Podstanc» складено таким чином, що вони можуть бути без особливих зусиль модернізовані в плані зняття перелічених вище спрощуючих допущень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Бобирь Д. В., Грищенко М. А., Сердюк В. Н. Теорія локомотивної тяги : підручник / Під ред. к-та техн. наук, доц. В. Н. Сердюка; УДУНТ; ННІ «Дніпров. ін-т інфраструктури і трансп.». – Дніпро, 2014. – 385 с.
- 2 В.І. Омеляенка, М.М. Калюжного, Г.В. Омеляненко, Б.Г. Любарського «Основи електричної тяги, системи та режими тягових мереж постійного струму» / Харків: НТУ «ХП», 2002. – 162с.
- 3 Толочко О. І. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2013. – 150 с.
4. Моделювання електромеханічних систем: підручник / Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й. – Кременчук, 2001. – 410 с.
5. Любарський Б. Г. Моделювання об'єктів електричного транспорту / Б. Г. Любарський, О. М. Дубініна – Харків: НТУ «ХП», 2014. – 223 с.
6. Andreas Steimel. Electric Traction – Motive Power and Energie Supply. Basics and Practical Experience. Oldenburg Industrieverlag München, 2008. - 334p.

## Додаток А – Лістинг програм комплексу

```
unit Pschet;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, ExtCtrls, StdCtrls, ComObj;
type
  TUSchet = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    GroupBox1: TGroupBox;
    GroupBox2: TGroupBox;
    Label1: TLabel;
    Panel2: TPanel;
    GroupBox3: TGroupBox;
    GroupBox4: TGroupBox;
    GroupBox5: TGroupBox;
    GroupBox6: TGroupBox;
    GroupBox7: TGroupBox;
    GroupBox8: TGroupBox;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;
    Label14: TLabel;
    Label15: TLabel;
    Label16: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Label19: TLabel;
    Label20: TLabel;
    Label21: TLabel;
```



Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label25: TLabel;  
Label26: TLabel;  
Label27: TLabel;  
Label28: TLabel;  
Label29: TLabel;  
Label30: TLabel;  
Label31: TLabel;  
Label32: TLabel;  
Label33: TLabel;  
Label34: TLabel;  
Label35: TLabel;  
Label37: TLabel;  
Label38: TLabel;  
Label39: TLabel;  
Label40: TLabel;  
Label43: TLabel;  
Label44: TLabel;  
Label45: TLabel;  
Label46: TLabel;  
Label47: TLabel;  
Label48: TLabel;  
Label51: TLabel;  
Label52: TLabel;  
Panel3: TPanel;  
Button1: TButton;  
Button2: TButton;  
Button3: TButton;  
Image1: TImage;  
Panel4: TPanel;  
Label36: TLabel;  
Button4: TButton;  
Label53: TLabel;  
Label54: TLabel;  
Label55: TLabel;  
Label56: TLabel;  
Label57: TLabel;

```

Label58: TLabel;
Label59: TLabel;
Label60: TLabel;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
Const NN=40;
TYPE
  PrUkl=Array [1..NN,1..6] of real;
  UklRash=Array [1..NN] of real;
var
  Uschet: TUschet;
  Kob1,Kst1,Kdelta1,Krrp1,f11,Idv1,Iel1,cofi1,Skor1,Put1,U1,Pdv1,Pst1,mu1,
  NomNap1,
  Kob2,Kst2,Kdelta2,Krrp2,f12,Idv2,Iel2,cofi2,Skor2,Put2,U2,Pdv2,Pst2,mu2,
  NomNap2,
  Kob3,Kst3,Kdelta3,Krrp3,f13,Idv3,Iel3,cofi3,Skor3,Put3,U3,Pdv3,Pst3,mu3,
  NomNap3,
  Kob4,Kst4,Kdelta4,Krrp4,f14,Idv4,Iel4,cofi4,Skor4,Put4,U4,Pdv4,Pst4,mu4,
  NomNap4,
  Kob5,Kst5,Kdelta5,Krrp5,f15,Idv5,Iel5,cofi5,Skor5,Put5,U5,Pdv5,Pst5,mu5,
  NomNap5,
  Kob6,Kst6,Kdelta6,Krrp6,f16,Idv6,Iel6,cofi6,Skor6,Put6,U6,Pdv6,Pst6,mu6,
  NomNap6:real;
  PutProm1,PutProm2,PutProm3,PutProm4,PutProm5,PutProm6,
  PutTek1,PutTek2,PutTek3,PutTek4,PutTek5,PutTek6:real;
  TyagaTor,Ukl1,PrUkl1,Pnd1,RasEner1,RasEner2,EnRec1,{SkorTor1,}LTMex,SkorPr1,
  Tyaga1:real;
  z,Vrem,www:integer;
  Pr,Prom,MasPoez,DopUsk:real;
  PrUklUch:PrUkl;
  E:variant;
  { UklOb:UklRash; }
implementation

```

{SR \*.dfm}

Uses PElectrovoz;

Type

UklObr=Array [1..NN] of real;

Var

Tauv1,Tau1v1,Tau2v1,bs1,cs1,ds1,es1,PotokN1,bettaR1,bettaN1,Krm1,f21,f2k1,UnStr1,  
sn1,n21,Pdvr1,betta1,bettak1,alpha1,Mdr1,SkorR1,UdSopPo1,DlSos1,DIPoez1,DILok1,  
RezUkl1,PrUklRez1,TyagaTor1,delf1,Md1,LTor1,Imu1,

Tauv2,Tau1v2,Tau2v2,bs2,cs2,ds2,es2,PotokN2,bettaR2,bettaN2,Krm2,f22,f2k2,UnStr2,  
sn2,n22,Pdvr2,betta2,bettak2,alpha2,Mdr2,SkorR2,UdSopPo2,DlSos2,DIPoez2,DILok2,  
RezUkl2,PrUklRez2,TyagaTor2,delf2,Md2,LTor2,Imu2,

Tauv3,Tau1v3,Tau2v3,bs3,cs3,ds3,es3,PotokN3,bettaR3,bettaN3,Krm3,f23,f2k3,UnStr3,  
sn3,n23,Pdvr3,betta3,bettak3,alpha3,Mdr3,SkorR3,UdSopPo3,DlSos3,DIPoez3,DILok3,  
RezUkl3,PrUklRez3,TyagaTor3,delf3,Md3,LTor3,Imu3,

Tauv4,Tau1v4,Tau2v4,bs4,cs4,ds4,es4,PotokN4,bettaR4,bettaN4,Krm4,f24,f2k4,UnStr4,  
sn4,n24,Pdvr4,betta4,bettak4,alpha4,Mdr4,SkorR4,UdSopPo4,DlSos4,DIPoez4,DILok4,  
RezUkl4,PrUklRez4,TyagaTor4,delf4,Md4,LTor4,Imu4,

Tauv5,Tau1v5,Tau2v5,bs5,cs5,ds5,es5,PotokN5,bettaR5,bettaN5,Krm5,f25,f2k5,UnStr5,  
sn5,n25,Pdvr5,betta5,bettak5,alpha5,Mdr5,SkorR5,UdSopPo5,DlSos5,DIPoez5,DILok5,  
RezUkl5,PrUklRez5,TyagaTor5,delf5,Md5,LTor5,Imu5,

Tauv6,Tau1v6,Tau2v6,bs6,cs6,ds6,es6,PotokN6,bettaR6,bettaN6,Krm6,f26,f2k6,UnStr6,  
sn6,n26,Pdvr6,betta6,bettak6,alpha6,Mdr6,SkorR6,UdSopPo6,DlSos6,DIPoez6,DILok6,  
RezUkl6,PrUklRez6,TyagaTor6,delf6,Md6,LTor6,Imu6:real;

DlinOb,{delf,f1,}f2,DlPo,UdSopPo,PutObr2,PutObr4,PutObr6,PutObr:real;

Tok,TokP,Tok11A1,Tok11B1,Tok11C1,Tok13A1,Tok13B1,Tok13C1,Tok15A1,

Tok15B1,Tok15C1,Tok22A2,Tok22B2,Tok22C2,Tok24A2,Tok24B2,Tok24C2,Tok26A2,

Tok26B2,Tok26C2,TokC,TokCA1,TokCA2,TokCB1,TokCB2,TokA1,TokA2,TokB1,TokB2,

TokC1C2,TokC2C1,DelUK11,DelUK13,DelUK15,DelUK22,DelUK24,DelUK26,DelUR11,

DelUR13,DelUR15,DelUR22,DelUR24,DelUR26,DelURR11,DelURR13,DelURR15,

DelURR22,DelURR24,DelURR26,DelU11,DelU13,DelU15,DelU22,DelU24,DelU26,

DelUOR11,DelUOR13,DelUOR15,DelUOR22,DelUOR24,DelUOR26,DelUKC1,DelURC1,

DelUKC2,DelURC2,DelUC1,DelUC2,DelPS,PA,PB,DelPS1,DelPS2,DelPS3,DelPS4,

DelPS5,DelPS6,TokSrA,TokSrB,TokEffA,TokEffB,TokMaxA,TokMaxB,UklUch1,

UklUch3,UklUch5,UklU,UklOb,UsSk,UsSk1,UsSk2,UsSk3,UsSk4,UsSk5,UsTy1,UsTy2,

UsTy12,UsTy22,UsTy32,UsTy42,UsTy52,TyagaP1,TyagaP2,

UsTy11,UsTy21,UsTy31,UsTy41,UsTy51,UsI,UsI1,UsI2,UsI3,UsI4,UsI5,Irek,UsIdv5,

UsIdv4,UsIdv3,UsIdv2,UsIdv1,UsId1,{UsSk2,}UsSk12,UsSk22,UsSk32,UsSk42,UsSk52,

{UsI2,}UsI12,UsI22,UsI32,UsI42,UsI52,UklOb2,Put22,TokMaxA1,TokMaxA2,TokMaxB1,

TokMaxB2,UklU2,Irp2,Irp3,SumF2,SumF3,UdTyagaPr2,UdTyagaPr3,ksi2,ksi3,

```

UdSopPo13,SopTor2,SopTor3,UsMd1,UsMd2:real;
  Ksi1,UdTyagaPr1,Usk1,DelfX,Potok1,Bz1,Bd1,SumF1,Irp1,SopTor1,TorSila1,
  PdvP,UklUch11,PrUklUch11,ZSkor1,Uvc1,kpd1,SkorAA,delu:real;
i,j,q,qq,g,w,r,rr,p,s,ss,eee,hh,hh1,hh2,hh3,hh4,hh5,hh6,dd,ddd,Kriv,Tip:integer;
q1,q2,q3,q4,q5,h,g38,g40,g44,g46,g48,g52,g55,g56,g57,g58,g59,g60:string[8];
UklUchObr:UklObr;
FDD,FDF:Text;
TyagaP,PdvP,SopDvi:real;
procedure TUSchet.Button1Click(Sender: TObject);
begin
Close;
end;
procedure TUSchet.Button4Click(Sender: TObject);
Procedure Pusk( p,Wvf,Ns,m1,Kdv,Vag4,Vag8,ObKolVag:integer; Xs,Xrp,X0,Rs,Rrp,Unl,
fn,Kob,f2n,Dsr,lrsas,Kst,delta,Kdelta,Uset,Kpd,Krrp,Dk,LocMas,MasSos,Mn,Ifn,
bzub,Pst,mu:real;
  Var bs,cs,ds,es,PotokN,f1,Idv,Iel,cofi,Krm,Skor,{f2,}f2k,Put,
  U,Pdv,UnStr,Imun,bettaR:real);
label loop;
Var
  chis1,chis2,znam1,znam2,Potok,Mdrn,Bd,Bz,Hd,Fdel,SumF,kmu,Md,Irp,Ia,Ix,sn,
  Tau,Tau1,Tau2,bettaN,bettak,alpha,Un,Tyaga,UdTyaga,UdSopLoc,OsUdSoVa,SopLoc,
  SopSos,SopPo,Imu,ksi,UdTyagaPr:real;
begin
Tau1:=(Xs+X0)/X0;
Tau2:=(Xrp+X0)/X0;
Tau:=Tau1+Tau2+Tau1*Tau2;
bs:=Rs*(1+Tau2);
cs:=X0*Tau;
ds:=Rs/X0;
es:=1+Tau1;
sn:=f2n/fn;
chis1:=cs*cs*sn/Rrp+es*es*Rrp/sn;
znam1:=(bs*bs+cs*cs)*sn/Rrp+(ds*ds+es*es)*Rrp/sn+2*Rs;
Un:=Unl/1.73205;
UnStr:=Un*sqrt(chis1/znam1);
PotokN:=0.96*Un/(4.44*fn*Wvf*Kob);
bettaN:=f2n/fn;
Mdrn:=3*PotokN*PotokN*m1*4.44*4.44*Wvf*Wvf*Kob*Kob*fn*(Rrp/bettaN)/

```

```

(6.2834*(Xrp*Xrp+Rrp*Rrp/(betaN*betaN)));
Krm:=Mn/Mdrn;
Idv:=8000; fl:=0.1;
bettak:=Rrp*(1+Tau1)/(Xs*(1+Tau2)+Xrp);
f2k:=bettak*fn;
While Idv>5*Ifn do
begin
Skor:=0.02;
alpha:=fl/fn;
betaR:=alpha;
chis2:=(bs*bs+cs*cs*alpha*alpha)*betaR/Rrp+(ds*ds+es*es*alpha*alpha)*
Rrp/betaR+2*Rs*alpha;
znam2:=(bs*bs+cs*cs)*betaR/Rrp+(ds*ds+es*es)*Rrp/betaR+2*Rs;
U:=UnStr*sqrt(chis2/znam2);
loop: Potok:=0.96*U/(4.44*fl*Wvf*Kob);
Bd:=0.7073*p*Potok/(Dsr*LsRas);
Bz:=3.1417*Bd*Dsr/(bzub*Ns*Kst);
if Bz>1.6 then
Hd:=-85650+{38000}54533.634*Bz
else
if (Bz>=1.2) and (Bz<=1.6) then
Hd:=Bz/(0.002982*Bz*Bz-0.00109*Bz*Bz*Bz-0.00037*Bz*Bz*Bz*Bz)
else
Hd:=610*Bz;
kmu:=Hd/(610*Bz);
Fdel:=0.8*Bd*delta*Kdelta*1000;
SumF:=2*Fdel*kmu;
Imun:=m1*SumF/(0.9*p*Wvf*Kob);
Md:=3*Krm*Potok*m1*4.44*4.44*Wvf*Wvf*Kob*Kob*fn*(Rrp/betaR)/
(6.2834*(Xrp*Xrp+Rrp*Rrp/(betaR*betaR)));
if Md>Mn then begin U:=U-Un/3000; Goto loop; end;
Irp:=1.4142*Md/(p*m1*Wvf*Kob*Potok*0.985);
Ia:=Pst*(Potok/PotokN)*(Potok/PotokN)*(fl/fn)*sqrt(fl/fn)/
(m1*Un)+Irp*0.985;
Ix:=Imun+Irp*0.174;
cofi:=Ia/Idv;
Idv:=sqrt(Ia*Ia+Ix*Ix);
Iel:=m1*U*Ia*Kdv/(Uset*kpd*krrp);
Tyaga:=2*mu*Kdv*Md/Dk;

```

```

UdTyaga:=Tyaga/(LocMas+MasSos);
UdSopLoc:=19.64;
OsUdSoVa:=8.25*Vag4/ObKolVag+9.62*Vag8/ObKolVag;
SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
SopPo:=SopLoc+SopSos;
UdSopPo:=SopPo/(LocMas+MasSos);
ksi:=0.34;
UdTyagaPr:=ksi*LocMas*9810/(LocMas+MasSos);
if UdTyaga>UdTyagaPr then begin U:=U-Un/3000; Goto loop; end;
Skor:=0.000034*(UdTyaga-UdSopPo{-9.81*(RezUkl[1]+PrUklRez[1])});
Pdv:=3*U*Idv*cofi/1000;
if f2<=0.8*f2k then begin f1:=f1+0.01; f2:=f1; end;
end;
Skor:=0; Put:=0;
end;
Procedure Poezd(z,p,Wvf,Ns,m1,Kdv,Vag4,Vag8,ObKolVag,KolSek:integer;
Rs,Xs,Xrp,Rrp,Unl,fn,Kob,f2n,Dsr,lras,Kst,delta,Kdelta,Uset,Kpd,Krrp,
Dk,LocMas,MasSos,Mn,Ifn,bzub,Pst,mu,bs,cs,ds,es,PotokN,Krm,f2k,DopUsk,
UnStr,Pnd,DIVag8,DIVag4,DILoc,bettaR,Un,SkorZad,LTor:real;
Var Iel,Skor,Put,U,PutProm,f1,n2,Idv,Imun :real; Var Vrem,dd:integer);
Var
Potok,Mdr,Bd,Bz,Hd,Fdel,SumF,kmu,Irp,Ia,Ix,sn,del1,del2,del3,Mdm,
bettaN,bettak,alpha,Tyaga,UdTyaga,UdSopLoc,OsUdSoVa,SopLoc,TyagaR,SkorPr,
SkorR,betta,SopSos,SopPo,UdSopPo,Imu,ksi,UdTyagaPr,TyagaPr,{n2,
Idv,}cofi,Pdv,Pdvr,Md,DISos,DIPoez,PrUklon,{LTor,}PutTek,delf,chis2,
znam2,RasEner,EnRec,ZSkor,UdSopTor,SopTor,TorSilaUd,TorSila,
Usk,Uvc,Uras1,Ur,UsTy:real;
TyagaTor,Uklon,SkorX:real;
label loop4;
Procedure Raschet( Var {Idv,}cofi,SkorR,Put,Pdv,Pdvr:real);
label loop1,loop2,1;
Var
Potok,Mdr,Bd,Bz,Hd,Fdel,SumF,kmu,Irp,Ia,Ix,sn,del1,del2,del3,Mdm,
bettaN,bettak,alpha,Tyaga,UdTyaga,UdSopLoc,OsUdSoVa,SopLoc,TyagaR,SkorPr,
betta,SopSos,SopPo,Imu,ksi,UdTyagaPr,TyagaPr,aa,UdSopPoZ,TyagaZ,MdZ,Upr,UsMd,
Ur:real;
ux:integer;
begin

```

```

if z=1 then begin dd:=g; SkorZad:=DopSkorUch[g]; end
    else
        if z=2 then begin dd:=s; SkorZad:=ObrDopSkorUch[s]; end
            else begin dd:=p; SkorZad:=DopSkorUch[p]; end;
ZSkor:=SkorZad-5; del1:=0; ux:=0; eee:=1; Upr:=0;
if z=1 then U:=U1 else if z=2 then U:=U2 else U:=U3;
loop2: if hh>0 then goto loop1;
if Skor<ZSkor-5 then
    begin
        if (f1<fn) and (ux<1) then
            begin
                TyagaTor:=0; Mdm:=0; f2:=f2n; Md:=Mn;
                eee:=1; if U>Un then U:=Un;
            end
        else
            begin
                case Tip of
                1: begin
                    UdSopLoc:=19.64+0.098*ZSkor+0.0029*ZSkor*ZSkor;
                    OsUdSoVa:=(6.87+(29.43+0.98*ZSkor+0.0245*ZSkor*ZSkor)/21.4)*
                        Vag4/ObKolVag+(6.87+(58.9+0.373*ZSkor+0.0206*ZSkor*ZSkor)/
                        21.4)*Vag8/ObKolVag;
                    SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
                    SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
                    SopPo:=SopLoc+SopSos;
                    UdSopPoZ:=SopPo/(LocMas+MasSos); end;
                2: begin
                    UdSopLoc:=19.64+0.098*ZSkor+0.0029*ZSkor*ZSkor;
                    OsUdSoVa:=(6.87+(78.48+1.766*ZSkor+0.0294*ZSkor*ZSkor)/14);
                    SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
                    SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
                    SopPo:=SopLoc+SopSos;
                    UdSopPoZ:=SopPo/(LocMas+MasSos); end;
                3: UdSopPoZ:=10.79+0.118*(ZSkor-6)+(0.002129+0.004522/ObKolVag)*(ZSkor-6)*(ZSkor-6);
                    end;
                if z=2 then TyagaZ:=(UdSopPoZ+(-UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81)*(LocMas+MasSos)
                    else
                        TyagaZ:=(UdSopPoZ+(UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81)*(LocMas+MasSos);
                    MdZ:=TyagaZ*Dk/(2*mu1*Kdv*KolSek);

```

```

if MdZ<0 then MdZ:=0.1;
Potok:=sqrt(abs(MdZ*(6.2834*(Xrp*Xrp+Rrp*Rrp/(betaR*betaR)))/(3*Krm*
    m1*4.44*4.44*Wvf*Wvf*Kob*Kob*fn*(Rrp/bettaR))));
Ur:=1.04*Potok*4.44*f1*Wvf*Kob/(2*0.96);
U:=U+(Ur-U)/10;
if U>Un then U:=Un;
eee:=2;
f2:=f2n;  f1:=Skor*mu*p/(11.28*Dk)+delf;
end;
end
else
if (Skor>=ZSkor-5) and (Skor<ZSkor+1) then
begin
case Tip of
1: begin
UdSopLoc:=19.64+0.098*ZSkor+0.0029*ZSkor*ZSkor;
OsUdSoVa:=(6.87+(29.43+0.98*ZSkor+0.0245*ZSkor*ZSkor)/21.4)*
    Vag4/ObKolVag+(6.87+(58.9+0.373*ZSkor+0.0206*ZSkor*ZSkor)/
    21.4)*Vag8/ObKolVag;
SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
SopPo:=SopLoc+SopSos;
UdSopPoZ:=SopPo/(LocMas+MasSos);    end;
2: begin
UdSopLoc:=19.64+0.098*ZSkor+0.0029*ZSkor*ZSkor;
OsUdSoVa:=(6.87+(78.48+1.766*ZSkor+0.0294*ZSkor*ZSkor)/14);
SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
SopPo:=SopLoc+SopSos;
UdSopPoZ:=SopPo/(LocMas+MasSos);    end;
3: UdSopPoZ:=10.79+0.118*ZSkor+(0.002129+0.004522/ObKolVag)*ZSkor*ZSkor;
end;
if z=2 then TyagaZ:=(UdSopPoZ+(-UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81)*(LocMas+MasSos)
else
TyagaZ:=(UdSopPoZ+(UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81)*(LocMas+MasSos);
MdZ:=TyagaZ*Dk/(2*mu*Kdv*KolSek);
if MdZ<0 then MdZ:=1;
Potok:=sqrt(abs(MdZ*(6.2834*(Xrp*Xrp+Rrp*Rrp/(betaR*betaR)))/(3*Krm*
    m1*4.44*4.44*Wvf*Wvf*Kob*Kob*fn*(Rrp/bettaR))));

```



```

U:=1.04*Potok*4.44*f1*Wvf*Kob/(2*0.96);
  if U>Un then U:=Un;
  f2:=f2n;  f1:=ZSkor*mu*p/(11.28*Dk);
  if Mdr<=0 then Mdr:=0.10;
  if U>Un then U:=Un;
  eee:=2; TyagaTor:=0;
  if U>=Un then begin eee:=1; U:=Un; end;
  if (U<=10) or (Skor>SkorZad) then begin U:=10; Mdm:=1; eee:=3; TyagaTor:=0; TyagaZ:=0; end;
end
else
  if (Skor>=ZSkor+1) and (Skor<ZSkor+7) then
    begin
      f2:=f2n;
      delf:=0;  f1:=Skor*mu*p/(11.28*Dk); { f1:=n2*p/60; }
      if f1<fn then U:=Un*(f1/fn); { f2:=f2n/10; }
      case Tip of
1: begin
      UdSopLoc:=19.64+0.098*ZSkor+0.0029*ZSkor*ZSkor;
      OsUdSoVa:=(6.87+(29.43+0.98*ZSkor+0.0245*ZSkor*ZSkor)/21.4)*
        Vag4/ObKolVag+(6.87+(58.9+0.373*ZSkor+0.0206*ZSkor*ZSkor)/
        21.4)*Vag8/ObKolVag;
      SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
      SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
      SopPo:=SopLoc+SopSos;
      UdSopPoZ:=SopPo/(LocMas+MasSos);      end;
2: begin
      UdSopLoc:=19.64+0.098*ZSkor+0.0029*ZSkor*ZSkor;
      OsUdSoVa:=(6.87+(78.48+1.766*ZSkor+0.0294*ZSkor*ZSkor)/14);
      SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
      SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
      SopPo:=SopLoc+SopSos;
      UdSopPoZ:=SopPo/(LocMas+MasSos);      end;
3: UdSopPoZ:=10.79+0.118*ZSkor+(0.002129+0.004522/ObKolVag)*ZSkor*ZSkor;
end;
  if z=2 then TyagaZ:=(UdSopPoZ+(-UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81)*(LocMas+MasSos)
    else
      TyagaZ:=(UdSopPoZ+(UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81)*(LocMas+MasSos);
      MdZ:=TyagaZ*Dk/(2*mu*Kdv*KolSek);
      if Usk1<0 then MdZ:=100;

```

```

Potok:=sqrt(abs(MdZ*(6.2834*(Xrp*Xrp+Rrp*Rrp/(betaR*betaR)))/(3*Krm*
    m1*4.44*4.44*Wvf*Wvf*Kob*Kob*fn*(Rrp/bettaR))));
Ur:=1.2*Potok*4.44*f1*Wvf*Kob/(2*0.96);
U:=U+(Ur-U)/100{10};
if U<=10 then U:=10;
    if U<0 then U:=-U;    if U>Un then U:=Un;
    eee:=4; Mdm:=0; TyagaTor:=0;
end
else
    begin
    delf:=0; U:=10; f2:=f2n; eee:=5;
    Mdm:=1; f1:=Skor*mu*p/(11.28*Dk);
    case Tip of
1: begin
    UdSopLoc:=19.64+0.098*ZSkor+0.0029*ZSkor*ZSkor;
    OsUdSoVa:=(6.87+(29.43+0.98*ZSkor+0.0245*ZSkor*ZSkor)/21.4)*
        Vag4/ObKolVag+(6.87+(58.9+0.373*ZSkor+0.0206*ZSkor*ZSkor)/
        21.4)*Vag8/ObKolVag;
    SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
    SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
    SopPo:=SopLoc+SopSos;
    UdSopPoZ:=SopPo/(LocMas+MasSos);    end;
2: begin
    UdSopLoc:=19.64+0.098*ZSkor+0.0029*ZSkor*ZSkor;
    OsUdSoVa:=(6.87+(78.48+1.766*ZSkor+0.0294*ZSkor*ZSkor)/14);
    SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
    SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
    SopPo:=SopLoc+SopSos;
    UdSopPoZ:=SopPo/(LocMas+MasSos);    end;
3: UdSopPoZ:=10.79+0.118*ZSkor+(0.002129+0.004522/ObKolVag)*ZSkor*ZSkor;
end;
    TyagaTor:=-abs(UdSopPoZ+(UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81)/
        (KolSek*Kdv);
if (Skor/ZSkor)>1.2 then
    begin
    U:=10; UdTyaga:=0;
    TyagaTor:=(-40.85*ZSkor*ZSkor/500+(-abs(UdSopPo+(UklUch[dd]+
        PrUklUch[dd,z])*9.81)))/(KolSek*Kdv);
    end
end

```

```

else begin
  if Skor>=ZSkor+10.5 then
    begin
      eee:=6; U:=10;
      UdTyaga:=0;
      TyagaTor:=-abs(UdSopPo+(UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81)/
        (KolSek*Kdv);
    end
  end;
end;
end;
  if (abs(U)>Un) then U:=Un;
loop1: hh:=0;
  alpha:=f1/fn;  if (abs(U)>Un) then U:=Un;  {if z=1 then delu:=dell; }
  betta:=f2/fn;
  if (abs(betta)<=0.002) then bettaR:=0.002 else bettaR:=betta;
  case z of
    1: f1:=f11;
    2: f1:=f12;
    3: f1:=f13;
  end;
  Potok:=0.96*U/(4.44*f1*Wvf*Kob);
  Bd:=0.707*p*Potok/(Dsr*lsras);
  Bz:=3.14*Bd*Dsr/(bzub*Ns*Kst);
  if Bz>1.6 then
    Hd:=-85650+{38000}54533.634*Bz
  else
    if (Bz>=1.2) and (Bz<=1.6) then
      Hd:=Bz/(0.002982*Bz*Bz-0.00109*Bz*Bz*Bz-0.00037*Bz*Bz*Bz*Bz)
    else
      Hd:=610*Bz;
  end;
  kmu:=Hd/(610*Bz);
  Fdel:=0.8*Bd*delta*Kdelta*1000;
  SumF:=2*Fdel*kmu;
  {if z=1 then SumF1:=SumF else if z=2 then SumF2:=SumF else SumF3:=SumF; }
  Imu:=m1*SumF/(0.9*p*Wvf*Kob); {Imu1:=Imu;  !!!!!}
  if Imu<NomFazTok1/12 then begin U:=U+Un/100{0}; goto loop1; end;
if abs(kmu)>1.75 then
  begin
    if f1>fn then

```

```

begin
    ZSkor:=ZSkor-0.01;
    Goto loop2;
end
else
begin
    U:=U-Un/1000;
    Goto loop2;
end;
end
else
begin
    ZSkor:=SkorZad;
    fl:=Skor*mu*p/(11.28*Dk)+delf;
    { U:=Un*(fl/fn); }
    if U>Un then U:=Un;
end;
end;
betaR:=f2/fn; { if z=1 then Imu1:=Imu else if z=2 then Imu2:=Imu else Imu3:=Imu; }
if (abs(beta)<=0.002) then betaR:=0.002 else betaR:=beta;
if fl>fn then
    Md:=3*Krm*Potok*Potok*m1*4.44*4.44*Wvf*Wvf*Kob*Kob*fn*(Rrp/bettaR)/
    (6.2834*(Xrp*Xrp+Rrp*Rrp/(bettaR*bettaR))) else
begin
    Md:=Mn;
    if dd=1 then Md:=20*DopUsk*(KolSek*LocMas+MasSos);
end;
if Md>Mn then Md:=Mn;
case eee of
    2: begin {if Md>MdZ then} Md:=MdZ; ux:=1; end;
    3,5,6: begin Md:=0.1; ux:=1; end;
    4: begin Md:=-MdZ; ux:=1; end;
    7: begin Md:={-}-UdTya*Gd*(KolSek*LocMas+MasSos)/(2*KolSek*mu1*Kdv); ux:=1; end;
end; if z=2 then UsTy:=UsTy2 else UsTy:=UsTy1;
UsMd:=UsTy*Dk/(2*KolSek*Kdv*mu1); if z=1 then UsMd1:=UsMd else UsMd2:=UsMd;
Irp:=1.4142*{Us}Md/(p*m1*Wvf*Kob*Potok*0.985);
Ia:=Pst*(Potok/PotokN)*(Potok/PotokN)*(fl/fn)*sqrt(fl/fn)/(m1*Un)+Irp*0.985;
Ix:=Imu+Irp*0.174;
Idv:=sqrt(Ia*Ia+Ix*Ix);
if Idv>1.5*Ifn then Idv:=1.5*Ifn; if eee=4 then Idv:=-Idv;

```

```

cofi:=Ia/Idv;          if cofi<0.2 then cofi:=0.2;  { cofi1:=cofi; !!!~!!}
Iel:=m1*U*Idv*KolSek*Kdv/Uset;
{ Iel2:=Iel2/4; }
Tyaga:=2*KolSek*mu1*Kdv*Md/Dk;  { if eee=4 then UsTy:=Tyaga; }
UdTyaga:=Tyaga/(KolSek*LocMas+MasSos);
case Tip of
1: begin
    UdSopLoc:=19.64+0.098*Skor+0.0029*Skor*Skor;
    OsUdSoVa:=(6.87+(29.43+0.98*Skor+0.0245*Skor*Skor)/21.4)*
        Vag4/ObKolVag+(6.87+(58.9+0.373*Skor+0.0206*Skor*Skor)/
        21.4)*Vag8/ObKolVag;
    SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
    SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
    SopPo:=SopLoc+SopSos;
    UdSopPo:=SopPo/(LocMas+MasSos);      end;
2: begin
    UdSopLoc:=19.64+0.098*Skor+0.0029*Skor*Skor;
    OsUdSoVa:=(6.87+(78.48+1.766*Skor+0.0294*Skor*Skor)/14);
    SopLoc:=UdSopLoc*LocMas;
    SopSos:=OsUdSoVa*MasSos;
    SopPo:=SopLoc+SopSos;
    UdSopPo:=SopPo/(LocMas+MasSos);      end;
3: UdSopPo:=10.79+0.118*Skor+(0.002129+0.004522/ObKolVag)*Skor*Skor;
    end;
if z=1 then UdSopPo1:=UdSopPo;
ksi:=0.28+4/(50+6*Skor)-0.0006*Skor;
UdTyagaPr:=ksi*KolSek*LocMas*9810/(KolSek*LocMas+MasSos);
SkorR:=Skor;
if z=2 then Skor:=Skor+0.0034*(UdTyaga-(UdSopPo+(-UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])
    *9.81)+TyagaTor)
    else Skor:=Skor+0.0034*(UdTyaga-(UdSopPo+(UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])
    *9.81)+TyagaTor);
if SkorR<0 then SkorR:=0;
n2:=SkorR*mu/(0.188*Dk);
if n2<=0 then n2:=0;
if SkorR<=0 then Skor:=0;
f2:=f1-n2*p/60;
if (f2>=4*f2n) or (UdTyaga>UdTyagaPr) then
    begin

```

```

ZSkor:=ZSkor-0.01;
Goto loop2;
end
else
    ZSkor:=SkorZad;
    SkorX:=Skor;
if z=2 then Skor:=Skor+0.0034*(UdTyaga-(UdSopPo+(-UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])
    *9.81)+TyagaTor)
    else Skor:=Skor+0.0034*(UdTyaga-(UdSopPo+(UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])
    *9.81)+TyagaTor);
Skor:=(Skor+SkorR)/2;
f2k:=bettak*fn;
case z of
    1: f11:=Skor1*mu1*p1/(11.28*Dkolesa1);
    2: f12:=Skor2*mu2*p2/(11.28*Dkolesa2);
    3: f13:=Skor3*mu3*p3/(11.28*Dkolesa3);
end;
beta:=f2/fn;
Pdv:=m1*U*Idv*cofi/1000; { Pdv1:=Pdv; !!!!}
if Pdv>NomMochn1*1.25 then begin ZSkor:=ZSkor-5; goto loop1; end else ZSkor:=SkorZad;
    Pdv:=UsTy{aga}*Skor/(KolSek*Kdv*3.6*1000);    PdvP:=Pdv;
{ if z=1 then Pdv1:=Pdv else if z=2 then Pdv2:=Pdv else Pdv3:=Pdv; }
TyagaP:=Tyaga; PdvP:=Pdv; if z=2 then TyagaP2:=TyagaP else TyagaP1:=TyagaP;
SopDvi:=UdSopPo+(UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81;
if (betaR<0) and (Idv<0) then eee:=3;
Case eee of
    1: q1:=‘ Тяга’;
    2,8: q1:=‘Неп.тяга’;
    3: q1:=‘ Выбег’;
    4: q1:=‘ЭД торм’;
    5: q1:=‘Mex. топ’;
end;    if eee=2 then Uvc1:=U else Uvc1:=Uvc;
if (eee=3) or (eee=5) then Iel:=1.452867;
    q2:=FloatToStr(Skor);
if (z mod 2)<>0 then q3:=FloatToStr(Put) else q3:=FloatToStr(PutObr);
if z=1 then q4:=FloatToStr(Iel1) else if z=2 then q4:=FloatToStr(Iel2) else q4:=FloatToStr(Iel3);
if U<0 then q5:=FloatToStr(-U*1.73) else q5:=FloatToStr(U*1.73);
Case z of
    1: begin

```

```

Label2.Caption:=q1;
Label3.Caption:=q2;
Label4.Caption:=q3;
Label5.Caption:=q4;
Label6.Caption:=q5;
if KonSkor1>1 then LTor:=0 else LTor:=1200;
end;
2: begin
Label7.Caption:=q1;
Label8.Caption:=q2;
Label9.Caption:=q3;
Label10.Caption:=q4;
Label11.Caption:=q5;
if KonSkor2>1 then LTor2:=0 else Ltor2:=1200;
end;
3: begin
Label12.Caption:=q1;
Label13.Caption:=q2;
Label14.Caption:=q3;
Label15.Caption:=q4;
Label16.Caption:=q5;
if KonSkor3>1 then LTor3:=0 else Ltor3:=1200;
end;
4: begin
Label17.Caption:=q1;
Label18.Caption:=q2;
Label19.Caption:=q3;
Label20.Caption:=q4;
Label21.Caption:=q5;
if KonSkor4>1 then LTor4:=0 else Ltor4:=2200;
end;
5: begin
Label22.Caption:=q1;
Label23.Caption:=q2;
Label24.Caption:=q3;
Label25.Caption:=q4;
Label26.Caption:=q5;
if KonSkor5>1 then LTor5:=0 else Ltor5:=2200;
end;

```

```

6: begin
  Label27.Caption:=q1;
  Label28.Caption:=q2;
  Label29.Caption:=q3;
  Label30.Caption:=q4;
  Label31.Caption:=q5;
  if KonSkor6>1 then LTor6:=0 else Ltor6:=2200;
  end;
end;
  DILok1:=180;  Uvc1:=Uvc;
if KonSkor1<1 then begin
LTor1:=800{0.006*SkorZad*(LocMas+MasSos)*8/6.5*Kdv};  LTMex:=200;
end
  else begin LTor1:=0;  LTMex:=0; end;
  end;
BEGIN   eee:=1;
  if (DlinOb-LTor)>Put then
  begin
  if f1<=fn then
  begin
    delf:=0.955*DopUsk*mu/(2*Dk);
    f1:=f1+delf;
    if Skor>0.1 then
    begin
      if Idv>2*NomFazTok1 then U:=U-Un/100;  f1:=f1+fn/10;
      if Md>Mn then Md:=Mn;
    if (UdTya>0.95*TyaPr) or (Idv>5*Ifn) then delf:={f2n}-f2n/10
      else delf:=0.955*DopUsk*mu/Dk;
    if Pdv>(1.2*Pnd/1000) then delf:=-0.955*DopUsk*mu/(2*Dk)
      else
      delf:=0.955*DopUsk*mu/(2*Dk);
      end
    else
      begin
      Md:=Mn/18; f1:=f1+delf;
    if (UdTya>0.95*TyaPr) or (Idv>2*Ifn) then delf:=0
      else delf:=0.955*DopUsk*mu/Dk;
      end;
    alpha:=f1/fn;  f2:=f2n;

```



```

betta:=f2/fn;
if f1<=fn then begin
  chis2:=abs((bs*bs+cs*cs*alpha*alpha)*betta {R}/rrp+
    (ds*ds+es*es*alpha*alpha)*rrp/betta {R}+2*rs*alpha);
  znam2:=abs((bs*bs+cs*cs)*betta {R}/rrp+(ds*ds+es*es)*rrp/betta {R}+2*rs);
  U:=UnStr*sqrt(chis2/znam2){*sqrt(abs(Md/Mn))};
  if U>Un then U:=Un;
    end
  else
    begin
    end;
Raschet( {f1,Idv,Iel,}cofi,Skor,{f2,}Put, {U,}Pdv,Pdvr);
  end
else
  begin
  delf:=0.955*DopUsk*mu/Dk;
  if (UdTyaga>0.95*TyagaPr) or (Idv>5*Ifn) then delf:={f2n}0
    else delf:=0.955*DopUsk*mu/Dk;
  if (abs(UdTyaga-UdSopPo-9.81*UklUch[dd]-PrUklUch[dd,z]*9.81)<0.05*UdTyaga)
    then delf:=delf/80 else delf:=0.955*DopUsk*mu/(2*Dk);
  if Pdv>(1.2*Pnd/1000) then delf:=-0.955*DopUsk*mu/(2*Dk)
    else
    delf:=0.955*DopUsk*mu/(2*Dk);
  f1:=f1+delf;
  alpha:=f1/fn;
  betta:=f2/fn;
  if U>Un then U:=Un;
  Raschet( {f1,Idv,Iel,}cofi,Skor,{f2,}Put, {U,}Pdv,Pdvr);
  { Raschet(U,f1,Skor,n2,betta,Put,f2); }
  if f1<fn then f2:=-f2;
  if Skor<=0 then Skor:=0.2;
  end;
  end
else
  begin
  if DlinOb-Put>LTMex then
    begin
    SkorPr:=Skor;
    f1:=p*mu*Skor/(11.28*Dk)-f2k-delf/2;

```

```

if f1>fn then U:=Un/2 else U:=Un*f1/(2*fn);
loop4:   f2:=f2n;
        alpha:=f1/fn;
        betta:=f2/fn;
        Potok:=0.96*U/(4.44*f1*Wvf*Kob);
        Bd:=0.7073*p*Potok/(Dsr*Isras);
        Bz:=3.1417*Bd*Dsr/(bzub*Ns*Kst);
        if Bz>1.6 then
            Hd:=-58650+38000*Bz
        else
            if (Bz>=1.2) and (Bz<=1.6) then
                Hd:=Bz/(0.002982*Bz*Bz-0.00109*Bz*Bz*Bz-0.00037*Bz*Bz*Bz*Bz)
            else
                Hd:=610*Bz;
            kmu:=Hd/(610*Bz);
            Fdel:=0.8*Bd*delta*Kdelta*1000;
            SumF:=2*Fdel*kmu;
            Imu:=m1*SumF/(0.9*p*Wvf*Kob);
            Md:=Potok*Potok*m1*4.44*4.44*Wvf*Wvf*Kob*Kob*fn*(Rrp/betta)/
                (2*6.2834*(Xrp*Xrp+Rrp*Rrp/(betta*betta)));
            Irp:=1.4142*Md/(p*m1*Wvf*Kob*Potok*0.985);
            Ia:=Pst*(Potok/PotokN)*(Potok/PotokN)*(f1/fn)*
                sqrt(f1/fn)/(m1*Un)+Irp*0.985;
            Ix:=Imu+Irp*0.174;
            Idv:=sqrt(Ia*Ia+Ix*Ix);
            if Idv>Ifn{/3} then begin U:=U-U/10; Goto loop4; end;
            cofi:=Ia/Idv;
            Iel:=(m1*U*Idv*Kdv*KolSek/(Uset*cofi*Krrp));
        if z=1 then Iel1:=-Iel else if z=2 then Iel2:=-Iel else Iel3:=-Iel;
        Tyaga:=2*KolSek*mu*Kdv*Md/Dk;
        UdTyaga:=Tyaga/(LocMas+MasSos);
        UdSopLoc:=23.54+0.108*Skor+0.0034*Skor*Skor+9.81*
            UklUch[dd];
        OsUdSoVa:=(6.87+(29.43+0.98*Skor+0.0245*Skor*Skor)
            /21.4+9.81*UklUch[dd])*Vag4/ObKolVag+(6.87+(58.9+0.373*
            Skor+0.0206*Skor*Skor)/21.4+9.81*
            UklUch[dd])*Vag8/ObKolVag;
        UdSopTor:=(UdSopLoc*LocMas+OsUdSoVa*MasSos)/(LocMas+MasSos);
        if z=1 then UdSopPo1:=UdSopTor else if z=2 then UdSopPo2:=UdSopTor else UdSopPo13:=UdSopTor;

```

```

SopTor:=UdSopLoc*LocMas+OsUdSoVa*MasSos;
if z=1 then SopTor1:=-SopTor else if z=2 then SopTor2:=-SopTor else SopTor3:=-SopTor;
Skor:=Skor-0.0034*(abs(UdSopTor)+abs(UdTyaaga));
If Skor<0 then Skor:=0;
n2:=Skor*mu/(0.188*Dk);
if n2<=0 then n2:=0;
if z=1 then n21:=n2 else if z=2 then n22:=n2 else n23:=n2;
f2:=f1-n2*p/60;
beta:=f2/fn;
ksi:=0.28+4/(50+6*Skor)-0.0006*Skor;
if z=1 then ksi1:=ksi else if z=2 then ksi2:=ksi else ksi3:=ksi;
UdTyaagaPr:=ksi*LocMas*9810/(LocMas+MasSos); if z=1 then UdTyagaPr1:=UdTyaagaPr;
Put:=Put+(SkorPr+Skor)/(2*3.6);
q2:=FloatToStr(Skor);
Pdvr:=Tyaga*Skor/(KolSek*Kdv*3.6*1000); PdvrP:=Pdvr;
if (z mod 2)<>0 then q3:=FloatToStr(Put) else q3:=FloatToStr(PutObr);
q4:=FloatToStr(Iel);
if z=1 then Iel1:=Iel else if z=2 then Iel2:=Iel else Iel3:=Iel;
UklUch11:=UklUch[dd];
if U<0 then q5:=FloatToStr(-U) else q5:=FloatToStr(U);
q1:='ЭДo topм'; eee:=10;
Case z of
1: begin
Label2.Caption:=q1;
Label3.Caption:=q2;
Label4.Caption:=q3;
Label5.Caption:=q4;
Label6.Caption:=q5;
end;
2: begin
Label7.Caption:=q1;
Label8.Caption:=q2;
Label9.Caption:=q3;
Label10.Caption:=q4;
Label11.Caption:=q5;
end;
3: begin
Label12.Caption:=q1;
Label13.Caption:=q2;

```

```

Label14.Caption:=q3;
Label15.Caption:=q4;
Label16.Caption:=q5;
end;
4: begin
Label17.Caption:=q1;
Label18.Caption:=q2;
Label19.Caption:=q3;
Label20.Caption:=q4;
Label21.Caption:=q5;
end;
5: begin
Label22.Caption:=q1;
Label23.Caption:=q2;
Label24.Caption:=q3;
Label25.Caption:=q4;
Label26.Caption:=q5;
end;
6: begin
Label27.Caption:=q1;
Label28.Caption:=q2;
Label29.Caption:=q3;
Label30.Caption:=q4;
Label31.Caption:=q5;
end;
end;
TyagaP:=Tyaga/(1000*Kdv*KolSek); PdvP:=TyagaP*Skor1/(1000*3.6);
SopDvi:=(UdSopPo+(UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81)*(MasSos1+MasLok1);
delfX:=delf;
end
else
begin
if z=1 then dd:=g else if z=2 then dd:=s else dd:=p;
if z=1 then Skor:=Skor1 else if z=2 then Skor:=Skor2 else Skor:=Skor3;
UdSopLoc:=23.54+0.108*Skor+0.0034*Skor*Skor+9.81*
UklUch[dd];
OsUdSoVa:=(6.87+(29.43+0.98*Skor+0.0245*Skor*Skor)
/21.4+9.81*UklUch[dd])*Vag4/ObKolVag+(6.87+(58.9+0.373*
Skor+0.0206*Skor*Skor)/21.4+9.81*

```

```

    UklUch[dd])*Vag8/ObKolVag;
    UdSopTor:=(UdSopLoc*LocMas+OsUdSoVa*MasSos)/(LocMas+MasSos);
        if z=1 then UdSopPo1:=UdSopTor;
    TorSilaUd:=-40.85*Skor*Skor/(DlinOb-Put)+UdSopTor;
    TorSila:=TorSilaUd*(LocMas+MasSos);
        if z=1 then TorSila1:=TorSila;
    Skor:=Skor-0.0034*abs(UdSopTor+abs(TorSilaUd));
    If Skor<0 then Skor:=0; Iel:=0;
    Put:=Put+(SkorPr+Skor)/(2*3.6);
        q2:=FloatToStr(Skor);
if (z mod 2)<>0 then q3:=FloatToStr(Put) else q3:=FloatToStr(PutObr);
    q4:=FloatToStr(Iel);
if U<0 then q5:=FloatToStr(-U) else q5:=FloatToStr(U);
    q1:='Ocr.topm'; eee:=10;
Case z of
1: begin
    Label2.Caption:=q1;
    Label3.Caption:=q2;
    Label4.Caption:=q3;
    Label5.Caption:=q4;
    Label6.Caption:=q5;
    end;
2: begin
    Label7.Caption:=q1;
    Label8.Caption:=q2;
    Label9.Caption:=q3;
    Label10.Caption:=q4;
    Label11.Caption:=q5;
    end;
3: begin
    Label12.Caption:=q1;
    Label13.Caption:=q2;
    Label14.Caption:=q3;
    Label15.Caption:=q4;
    Label16.Caption:=q5;
    end;
4: begin
    Label17.Caption:=q1;
    Label18.Caption:=q2;

```

```

Label19.Caption:=q3;
Label20.Caption:=q4;
Label21.Caption:=q5;
end;
5: begin
Label22.Caption:=q1;
Label23.Caption:=q2;
Label24.Caption:=q3;
Label25.Caption:=q4;
Label26.Caption:=q5;
end;
6: begin
Label27.Caption:=q1;
Label28.Caption:=q2;
Label29.Caption:=q3;
Label30.Caption:=q4;
Label31.Caption:=q5;
end;
end;
ksi:=0.28+4/(50+6*Skor)-0.0006*Skor;
if z=1 then ksi1:=ksi else if z=2 then ksi2:=ksi else ksi3:=ksi;
UdTyaPr:=ksi*LocMas*9810/(LocMas+MasSos);
TyagaP:=Tyaga/1000; PdvP:=0{TyagaP*Skor1/3.6};
Pdv:=Tyaga*Skor/(KolSek*Kdv*3.6*1000); PdvP:=Pdv;
SopDvi:=(UdSopPo+(UklUch[dd]+PrUklUch[dd,z])*9.81)*(MasSos1+MasLok1);
Usk:=(Skor-SkorPr)/3.6;
Idv1:=0; Iel:=0; U:=0; UsI:=0; n2:=Skor*mu/(0.188*Dk); n21:=n2;
SumF1:=0; Imu1:=0; Irp1:=0; SopTor1:=0; Bd1:=0; Bz1:=0; Potok1:=0;
f2:=0; cofi1:=0; Uvc1:=0; eee:=10;
end;
end;
BEGIN
AssignFile(FDD,'C:\ЭлектротягаV3\Rezalt\DanRas.xls');
Rewrite(FDD);
AssignFile(FDF,'C:\ЭлектротягаV3\Rezalt\OsnParm.txt');
Rewrite(FDF);
PutProm1:=0; PutTek1:=0; Put1:=0; SkorAA:=0;
PutProm2:=DIUch[KolUch]; PutTek2:=0; Put2:=0;

```

```

PutProm3:=0; PutTek3:=0; Put3:=0;
PutProm4:=0; PutTek4:=0; Put4:=0;
PutProm5:=0; PutTek5:=0; Put5:=0;
PutProm6:=0; PutTek6:=0; Put6:=0;
DIPoez1:=DILok1+Dl8Vag1*Kol8Vag1+Dl4Vag1*Kol4Vag1;
DIPoez2:=DILok2+Dl8Vag2*Kol8Vag2+Dl4Vag2*Kol4Vag2;
DIPoez3:=DILok3+Dl8Vag3*Kol8Vag3+Dl4Vag3*Kol4Vag3;
DIPoez4:=DILok4+Dl8Vag4*Kol8Vag4+Dl4Vag4*Kol4Vag4;
DIPoez5:=DILok5+Dl8Vag5*Kol8Vag5+Dl4Vag5*Kol4Vag5;
DIPoez6:=DILok6+Dl8Vag6*Kol8Vag6+Dl4Vag6*Kol4Vag6;
For i:=1 to 6 do
begin
case i of
1: DIPo:=DIPoez1;
2: DIPo:=DIPoez2;
3: DIPo:=DIPoez3;
4: DIPo:=DIPoez4;
5: DIPo:=DIPoez5;
6: DIPo:=DIPoez6;
end;
For j:=1 to KolUch do
If (RadKrUch[j]<=0 ) or (DIPo<1)
then PrUklUch[j,i]:=0.0
else
if DIPo<=DIKrUch[j]
then PrUklUch[j,i]:=700/RadKrUch[j]
else
PrUklUch[j,i]:=(700/RadKrUch[j]*DIKrUch[j])/DIPo;
end; j:=0;
Kob1:=0.91; Kst1:=0.95;
Kdelta1:=1.38; Krrp1:=0.9;
Pst1:=19000;
if flag1>0 then
begin
if NachSkor1>1 then hh1:=1;
Pusk( p1,Wvfl,Ns1,m11,KolTD1,Kol4Vag1,Kol8Vag1,ObKolVag1,XStator1,XPrivRotor1,
XNamagn1,RStator1,RPrivRotor1,NomLinNap1,NomChast1,Kob1,f2n1,Dsr1,lras1,
Kst1,delta1,Kdelta1,NomUTS,KpdD1,Krrp1,DKolesa1,MasLok1,MasSos1,NomMom1,
NomFazTok1,bzub1,Pst1,mu1,bs1,cs1,ds1,es1,PotokN1,fl1,Idv1,Iel1,cofi1,

```

```

Krm1,Skor1,{f21,}f2k1,Put1,U1,Pdv1,UnStr1,Imu1,bettaR1);
end;
Kob2:=0.91; Kst2:=0.95;
Kdelta2:=1.38; Krrp2:=0.9;
Pst2:=15000;
if flag2>0 then
begin
if NachSkor2>1 then hh2:=1;
Pusk( p2,Wvf2,Ns2,m12,KolTD2,Kol4Vag2,Kol8Vag2,ObKolVag2,XStator2,XPrivRotor2,
XNamagn2,RStator2,RPrivRotor2,NomLinNap2,NomChast2,Kob2,f2n2,Dsr2,lsras2,
Kst2,delta2,Kdelta2,NomUTS,KpdD2,Krrp2,DKolesa2,MasLok2,MasSos2,NomMom2,
NomFazTok2,bzub2,Pst2,mu2,bs2,cs2,ds2,es2,PotokN2,f12,Idv2,Iel2,cofi2,
Krm2,Skor2,f22,{f2k2,}Put2,U2,Pdv2,UnStr2,Imu2,bettaR2);
end;
Kob3:=0.91; Kst3:=0.95;
Kdelta3:=1.38; Krrp3:=0.9;
Pst3:=15000;
if flag3>0 then
begin
if NachSkor3>1 then hh3:=1;
Pusk( p3,Wvf3,Ns3,m13,KolTD3,Kol4Vag3,Kol8Vag3,ObKolVag3,XStator3,XPrivRotor3,
XNamagn3,RStator3,RPrivRotor3,NomLinNap3,NomChast3,Kob3,f2n3,Dsr3,lsras3,
Kst3,delta3,Kdelta3,NomUTS,KpdD3,Krrp3,DKolesa3,MasLok3,MasSos3,NomMom3,
NomFazTok3,bzub3,Pst3,mu3,bs3,cs3,ds3,es3,PotokN3,f13,Idv3,Iel3,cofi3,
Krm3,Skor3,f23,{f2k3,}Put3,U3,Pdv3,UnStr3,Imu3,bettaR3);
end;
Kob4:=0.91; Kst4:=0.95;
Kdelta4:=1.38; Krrp4:=0.9;
Pst4:=15000;
if flag4>0 then
begin
if NachSkor4>1 then hh4:=1;
Pusk( p4,Wvf4,Ns4,m14,KolTD4,Kol4Vag4,Kol8Vag4,ObKolVag4,XStator4,XPrivRotor4,
XNamagn4,RStator4,RPrivRotor4,NomLinNap4,NomChast4,Kob4,f2n4,Dsr4,lsras4,
Kst4,delta4,Kdelta4,NomUTS,KpdD4,Krrp4,DKolesa4,MasLok4,MasSos4,NomMom4,
NomFazTok4,bzub4,Pst4,mu4,bs4,cs4,ds4,es4,PotokN4,f14,Idv4,Iel4,cofi4,
Krm4,Skor4,{f24,}f2k4,Put4,U4,Pdv4,UnStr4,Imu4,bettaR4);
end;
Kob5:=0.91; Kst5:=0.95;

```



```

Kdelta5:=1.38;  Krrp5:=0.9;
Pst5:=15000;
if flag5>0 then
begin
  if NachSkor5>1 then hh5:=1;
Pusk( p5,Wvf5,Ns5,m15,KolTD5,Kol4Vag5,Kol8Vag5,ObKolVag5,XStator5,XPrivRotor5,
  XNamagn5,RStator5,RPrivRotor5,NomLinNap5,NomChast5,Kob5,f2n5,Dsr5,lsras5,
  Kst5,delta5,Kdelta5,NomUTS,KpdD5,Krrp5,DKolesa5,MasLok5,MasSos5,NomMom5,
  NomFazTok5,bzub5,Pst5,mu5,bs5,cs5,ds5,es5,PotokN5,f15,ldv5,Iel5,cofi5,
  Krm5,Skor5,{f25,}f2k5,Put5,U5,Pdv5,UnStr5,Imu5,bettaR5);
end;
Kob6:=0.91;  Kst6:=0.95;
Kdelta6:=1.38;  Krrp6:=0.9;
Pst6:=15000;
if flag6>0 then
begin
  if NachSkor6>1 then hh6:=1;
Pusk( p6,Wvf6,Ns6,m16,KolTD6,Kol4Vag6,Kol8Vag6,ObKolVag6,XStator6,XPrivRotor6,
  XNamagn6,RStator6,RPrivRotor6,NomLinNap6,NomChast6,Kob6,f2n6,Dsr6,lsras6,
  Kst6,delta6,Kdelta6,NomUTS,KpdD6,Krrp6,DKolesa6,MasLok6,MasSos6,NomMom6,
  NomFazTok6,bzub6,Pst6,mu6,bs6,cs6,ds6,es6,PotokN6,f16,ldv6,Iel6,cofi6,
  Krm6,Skor6,{f26,}f2k6,Put6,U6,Pdv6,UnStr6,Imu6,bettaR6);
end;
DlinOb:=0;
For i:=1 to KolUch do DlinOb:=DlinOb+DIUch[i];
{ ShowMessage('DlinOb='+FloatToStr(DlinOb)); }
i:=1; z:=1; Vrem:=0; g:=1; qq:=0; w:=0; rr:=0; p:=0; ss:=0{KolUch};
  PutProm1:=DIUch[2]; Put1:=0; q:=0; r:=0;
  s:=KolUch; PutProm2:=DIUch[KolUch];
Repeat
if (flag1>0) and (Vrem>ZadVrem1-1) then
begin
z:=1; if Vrem<=ZadVrem1 then Put1:=0;
if (NachSkor1>=1) and (Vrem<ZadVrem1+10) then
begin
Skor1:=NachSkor1;
f11:=p1*mu1*Skor1/(11.28*DKolesa1);
if f11<NomChast1 then
begin

```

```

    Skor1:=NachSkor1; f11:=1;
U1:=NomLinNap1*f11/(1.73*NomChast1);
    end
    else
        begin
            Skor1:={0}NachSkor1;
            U1:=NomLinNap1/1.73;
        end;
    hh:=1;
end;
if (PutTek1>0) and (PutTek1<=DIPoez1) then
begin
if UklUch[dd]>=UklUch[dd-1] then
    UklUch1{{dd}}:=UklUch[dd-1]-(UklUch[dd-1]-UklUch[dd])*PutTek1/DIPoez1
else
    UklUch1{{dd}}:=UklUch[dd-1]-(UklUch[dd-1]-UklUch[dd])*PutTek1/DIPoez1;
end;
If Put1>PutProm1 then
    begin
        g:=g+1;
        PutProm1:=PutProm1+DIUch[g];
        UklU:=UklOb;
    end;    if g>KolUch then g:=KolUch;
    PutTek1:=Put1+DIUch[g]-PutProm1; if g=KolUch then PrUklUch[g,z]:=0;
if z=1 then UklOb:=UklU+(UklUch[g]+PrUklUch[g,z])*PutTek1/1000; dd:=g; ddd:=dd;
    Kriv:=-500;                UklUch11:=UklUch[g-1];
    if RadKruUch[g]<>0 then Kriv:=100 else Kriv:=50; PrUklUch11:=PrUklUch[g,z];
        SkorAA:=Skor1; Tip:=Tip1;
Poezd(z,p1,Wvfl,Ns1,m11,KolTD1,Kol4Vag1,Kol8Vag1,ObKolVag1,KolSek1,RStator1,
XStator1,XPrivRotor1,RPrivRotor1,NomLinNap1,NomChast1,Kob1,f2n1,Dsr1,lsras1,
Kst1,delta1,Kdelta1,NomUTS,KpdD1,Krrp1,DKolesa1,MasLok1,MasSos1,NomMom1,
NomFazTok1,bzub1,Pst1,mu1,bs1,cs1,ds1,es1,PotokN1,Krm1,f2k1,DopUsk1,UnStr1,
NomMoch1,D18Vag1,D14Vag1,D1Lok1,bettaR1,NomLinNap1/1.73205,
DopSkorUch[g],LTor1,Iel1,Skor1,Put1,U1,PutProm1,f11,n21,Idv1,Imu1,{UklUch[i]} Vrem,dd);
hh:=0; NachSkor1:=0; ZSkor1:=DopSkorUch[g];
    Usk1:=(Skor1-SkorAA)/3.6;
if Put1>DlinOb then
begin
    Put1:=DlinOb{+1000}; Iel1:=0; g:=KolUch; Skor1:=0; U1:=0;

```

```

end;
    end
    else
Put1:=DlinOb{+1000};
if (flag2>0) and (Vrem>ZadVrem2-1) then
    begin
z:=2; if Vrem<=ZadVrem2 then Put2:=0;
    if NachSkor2<0.1{.05} then NachSkor2:={1}0.01;
    if (NachSkor2>1) and (Vrem<ZadVrem2+10) then
        begin
Skor2:=NachSkor2;
f12:=p2*mu2*Skor2/(11.28*DKolesa2);
if f12<NomChast2 then U2:=NomLinNap2*f12/(1.73*NomChast2)
            else
                begin
                    { Skor2:=0; }
                    U2:=NomLinNap2/1.73;
                end;
            hh:=1;
        end;
    If Put2>PutProm2 then
        begin
            ss:=ss+1;
            s:=KolUch-ss;
            PutProm2:=PutProm2+DIUch[s];
            UklU2:=UklOb2;
        end;
        www:=s;
        UklUchObr[www]:=-UklUch[s];
        PutTek2:=Put2+DIUch[s]-PutProm2; { if z=2 then PrUklUch[s,z]:=0; }
if z=2 then UklOb2:=UklU2+(UklUchObr[www]+PrUklUch[z,s])*PutTek2/1000; { j:=s; }
Poezd(z,p2,Wvf2,Ns2,m12,KolTD2,Kol4Vag2,Kol8Vag2,ObKolVag2,KolSek2,RStator2,
XStator2,XPrivRotor2,RPrivRotor2,NomLinNap2,NomChast2,Kob2,f2n2,Dsr2,lrsas2,
Kst2,delta2,Kdelta2,NomUTS,KpdD2,Krrp2,DKolesa2,MasLok2,MasSos2,NomMom2,
NomFazTok2,bzub2,Pst2,mu1,bs2,cs2,ds2,es2,PotokN2,Krm2,f2k2,DopUsk2,UnStr2,
NomMochn2,Dl8Vag2,Dl4Vag2,DlLok2,bettaR2,NomLinNap2/1.73205,
DopSkorUch[s],LTor2,Iel2,Skor2,Put2,U2,PutProm2,f12,n22,Idv2,Imu2,Vrem,s);
PutObr2:=DlinOb-Put2; if Iel2>1600 then Iel2:=Iel2/2;
PutObr:=PutObr2;

```

```

hh:=0; NachSkor2:=0;
if PutObr2>DlinOb then
begin
PutObr2:={DlinOb+100}0; Iel2:=0; s:=KolUch; Skor2:=0; U2:=0; NomUTS:=3300;
end;
end
else
if (flag3>0) and (Vrem>ZadVrem3-1) then
begin
z:=3; if Vrem<=ZadVrem3 then Put3:=0;
if (NachSkor3>1) and (Vrem<ZadVrem3+10) then
begin
Skor3:=NachSkor3;
f13:=p3*mu3*Skor3/(11.28*DKolesa3);
if f13<NomChast3 then U3:=NomLinNap3*f13/(1.73*NomChast3)
else
begin
Skor3:=0;
U3:=NomLinNap3/1.73;
end;
hh:=1;
end;
If Put3>=PutProm3 then
begin
p:=p+1;
PutProm3:=PutProm3+DIUch[p];
end;
PutTek3:=Put3+DIUch[p]-PutProm3;
if Put1>PutProm1-60 then
begin
if UklUch[dd+1]>=UklUch[dd] then
UklUch[ddd]:=UklUch[dd]+UklUch[dd+1]*Skor1/(100*DIPoez1);
if UklUch[ddd]>=UklUch[dd] then UklUch[ddd]:=UklUch[dd]
else
UklUch[ddd]:=UklUch[dd]-UklUch[dd+1]*Skor1/(100*DIPoez1);
if UklUch[ddd]<=UklUch[dd] then UklUch[ddd]:=UklUch[dd];
end; Tip:=Tip3;
Poezd(z,p3,Wvf3,Ns3,m13,KolTD3,Kol4Vag3,Kol8Vag3,ObKolVag3,KolSek3,RStator3,
XStator3,XPrivRotor3,RPrivRotor3,NomLinNap3,NomChast3,Kob3,f2n3,Dsr3,lsras3,

```

```

Kst3,delta3,Kdelta3,NomUTS,KpdD3,Krrp3,DKolesa3,MasLok3,MasSos3,NomMom3,
NomFazTok3,bzub3,Pst3,mu3,bs3,cs3,ds3,es3,PotokN3,Krm3,f2k3,DopUsk3,UnStr3,
NomMochn3,DI8Vag3,DI4Vag3,DILOk3,bettaR3,NomLinNap3/1.73205,
DopSkorUch[p],LTor3,Iel3,Skor3,Put3,U3,PutProm3,f13,n23,Idv3,Imu3,{UklUch3,}Vrem,dd);
hh:=0;  NachSkor3:=0;  if Put3>DlinOb then begin Put3:=DlinOb; Iel3:=0; end;
    end
    else
Put3:=DlinOb+1000;
if (flag4>0) and (Vrem>ZadVrem4-1) then
begin
z:=4;  if Vrem<=ZadVrem4 then Put4:=0;
if (NachSkor4>1) and (Vrem<ZadVrem4+10) then
begin
Skor4:=NachSkor4;
f14:=p4*mu4*Skor4/(11.28*DKolesa4);
U4:=NomLinNap4*f14/(1.73*NomChast4);
if f14<NomChast4 then U4:=NomLinNap4*f14/(1.73*NomChast4)
else
begin
Skor4:=0;
U4:=NomLinNap4/1.73;
end;
hh:=1;
end;
If Put4>PutProm4 then
begin
rr:=rr+1;
r:=KolUch-rr+1;
PutProm4:=PutProm4+DIUch[r];
end;
UklUch[r]:=-UklUch[r];
PutTek4:=Put4+DIUch[r]-PutProm4;
UklOb[r]:=UklUch[r]+PrUklUch[z,r]*PutTek4/1000;  { j:=r; }
Poezd(z,p4,Wvf4,Ns4,m14,KolTD4,Kol4Vag4,Kol8Vag4,ObKolVag4,KolSek4,RStator4,
XStator4,XPrivRotor4,RPrivRotor4,NomLinNap4,NomChast4,Kob4,f2n4,Dsr4,lrsas4,
Kst4,delta4,Kdelta4,NomUTS,KpdD4,Krrp4,DKolesa4,MasLok4,MasSos4,NomMom4,
NomFazTok4,bzub4,Pst4,mu4,bs4,cs4,ds4,es4,PotokN4,Krm4,f2k4,DopUsk4,UnStr4,
NomMochn4,DI8Vag4,DI4Vag4,DILOk4,bettaR4,NomLinNap4/1.73205,
DopSkorUch[r+1],LTor4,Iel4,Skor4,Put4,U4,PutProm4,f14,n24,Idv4,Imu4,Vrem,r);

```

```

PutObr4:=DlinOb-Put4;
PutObr:=PutObr4;
hh:=0;  NachSkor4:=0;
    end
    else
Put4:=DlinOb+1000;
if (flag5>0) and (Vrem>ZadVrem5-1) then
    begin
z:=5;  if Vrem<=ZadVrem5 then Put5:=0;
if (NachSkor5>1) and (Vrem<ZadVrem5+10) then
    begin
Skor5:=NachSkor5;
f15:=p5*mu5*Skor5/(11.28*DKolesa5);
U5:=NomLinNap5*f15/(1.73*NomChast5);
if f15<NomChast5 then U5:=NomLinNap5*f15/(1.73*NomChast5)
        else
            begin
                Skor5:=0;
                U5:=NomLinNap5/1.73;
            end;
        hh:=1;
    end;
If Put5>PutProm5 then
    begin
w:=w+1;
PutProm5:=PutProm5+DIUch[w];
    end;
PutTek5:=Put5+DIUch[w]-PutProm5;  Tip:=Tip5;
Poezd(z,p5,Wvf5,Ns5,m15,KolTD5,Kol4Vag5,Kol8Vag5,ObKolVag5,KolSek5,RStator5,
XStator5,XPrivRotor5,RPrivRotor5,NomLinNap5,NomChast5,Kob5,f2n5,Dsr5,lsras5,
Kst5,delta5,Kdelta5,NomUTS,KpdD5,Krrp5,DKolesa5,MasLok5,MasSos5,NomMom5,
NomFazTok5,bzub5,Pst5,mu5,bs5,cs5,ds5,es5,PotokN5,Krm5,f2k5,DopUsk5,UnStr5,
NomMochn5,DI8Vag5,DI4Vag5,DILok5,bettaR5,NomLinNap5/1.73205,
DopSkorUch[w],LTor5,Iel5,Skor5,Put5,U5,PutProm5,f15,n25,Idv5,Imu5,{UklUch5,}Vrem,dd);
hh:=0;  NachSkor5:=0;
    end
    else
Put5:=DlinOb+1000;
if (flag6>0) and (Vrem>ZadVrem6-1) then

```

```

begin
z:=6;  if Vrem<=ZadVrem6 then Put6:=0;
if (NachSkor6>1) and (Vrem<ZadVrem6+10) then
begin
Skor6:=NachSkor6;
f16:=p6*mu6*Skor6/(11.28*DKolesa6);
U6:=NomLinNap6*f16/(1.73*NomChast6);
if f16<NomChast6 then U6:=NomLinNap6*f16/(1.73*NomChast6)
else
begin
Skor6:=0;
U6:=NomLinNap6/1.73;
end;
hh:=1;
end;
If Put6>PutProm6 then
begin
qq:=qq+1;
q:=KolUch-qq+1;
PutProm6:=PutProm6+DIUch[q];
end;
UklUch[q]:=-UklUch[q];
PutTek6:=Put6+DIUch[q]-PutProm6;
UklOb[q]:=UklUch[q]+PrUklUch[z,q]*PutTek1/1000;  { j:=q; }
Poezd(z,p6,Wvf6,Ns6,m16,KolTD6,Kol4Vag6,Kol8Vag6,ObKolVag6,KolSek6,RStator6,
XStator6,XPrivRotor6,RPrivRotor6,NomLinNap6,NomChast6,Kob6,f2n6,Dsr6,lrsas6,
Kst6,delta6,Kdelta6,NomUTS,KpdD6,Krrp6,DKolesa6,MasLok6,MasSos6,NomMom6,
NomFazTok6,bzub6,Pst6,mu6,bs6,cs6,ds6,es6,PotokN6,Krm6,f2k6,DopUsk6,UnStr6,
NomMochn6,Dl8Vag6,Dl4Vag6,DlLok6,bettaR6,NomLinNap6/1.73205,
DopSkorUch[q],LTor6,Iel6,Skor6,Put6,U6,PutProm6,f16,n26,Idv6,Imu6,Vrem,q);
PutObr6:=DlinOb-Put6;
PutObr:=PutObr6;
hh:=0;  NachSkor6:=0;
end
else
Put6:=DlinOb+1000;
If Put1<RastPostSek then
begin
Tok11A1:=Iel1*(RastPostSek-Put1)/RastPostSek;

```

```

    Tok11C1:=Iel1*Put1/RastPostSek;
    Tok11B1:=0;
end
else
begin
    Tok11B1:=Iel1*(Put1-RastPostSek)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok11C1:=Iel1*(DlinOb-Put1)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok11A1:=0;
end;
If PutObr2<RastPostSek then
begin
    Tok22A2:=Iel2*(RastPostSek-PutObr2)/RastPostSek;
    Tok22C2:=Iel2*PutObr2/RastPostSek;
    Tok22B2:=0;
end
else
begin
    Tok22B2:=Iel2*(PutObr2-RastPostSek)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok22C2:=Iel2*(DlinOb-PutObr2)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok22A2:=0;
end;
If Put3<RastPostSek then
begin
    Tok13A1:=Iel3*(RastPostSek-Put3)/RastPostSek;
    Tok13C1:=Iel3*Put3/RastPostSek;
    Tok13B1:=0;
end
else
begin
    Tok13B1:=Iel3*(Put3-RastPostSek)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok13C1:=Iel3*(DlinOb-Put3)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok13A1:=0;
end;
If PutObr4<RastPostSek then
begin
    Tok24A2:=Iel4*(RastPostSek-PutObr4)/RastPostSek;
    Tok24C2:=Iel4*PutObr4/RastPostSek;
    Tok24B2:=0;
end

```



```

else
  begin
    Tok24B2:=Iel4*(PutObr4-RastPostSek)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok24C2:=Iel4*(DlinOb-PutObr4)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok24A2:=0;
  end;
If Put5<RastPostSek then
  begin
    Tok15A1:=Iel5*(RastPostSek-Put5)/RastPostSek;
    Tok15C1:=Iel5*Put5/RastPostSek;
    Tok15B1:=0;
  end
else
  begin
    Tok15B1:=Iel5*(Put5-RastPostSek)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok15C1:=Iel5*(DlinOb-Put5)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok15A1:=0;
  end;
If PutObr6<RastPostSek then
  begin
    Tok26A2:=Iel6*(RastPostSek-PutObr6)/RastPostSek;
    Tok26C2:=Iel6*PutObr6/RastPostSek;
    Tok26B2:=0;
  end
else
  begin
    Tok26B2:=Iel6*(PutObr6-RastPostSek)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok26C2:=Iel6*(DlinOb-PutObr6)/(DlinOb-RastPostSek);
    Tok26A2:=0;
  end;
TokC:=Tok11C1+Tok22C2+Tok13C1+Tok24C2+Tok15C1+Tok26C2;
TokCA1:=TokC*(DlinOb-RastPostSek)/(2*DlinOb);
TokCA2:=TokC*(DlinOb-RastPostSek)/(2*DlinOb);
TokCB1:=TokC*RastPostSek/(2*DlinOb);
TokCB2:=TokC*RastPostSek/(2*DlinOb);
TokA1:=Tok11A1+Tok13A1+Tok15A1+TokCA1;
TokA2:=Tok22A2+Tok24A2+Tok26A2+TokCA2;
TokB1:=Tok11B1+Tok13B1+Tok15B1+TokCB1;
TokB2:=Tok22B2+Tok24B2+Tok26B2+TokCB2;

```

```

TokSrA:=TokSrA+(TokA1+TokA2);
TokSrB:=TokSrB+(TokB1+TokB2);
TokEffA:=TokEffA+(TokA1+TokA2)*(TokA1+TokA2);
TokEffB:=TokEffB+(TokB1+TokB2)*(TokB1+TokB2);
If (TokA1+TokA2)>TokMaxA then TokMaxA:=TokA1+TokA2;
If (TokB1+TokB2)>TokMaxB then TokMaxB:=TokB1+TokB2;
TokC1C2:=TokA1+TokB1-(Iel1+Iel3+Iel5);
TokC2C1:=TokA2+TokB2-(Iel2+Iel4+Iel6);
If TokA1>TokMaxA1 then TokMaxA1:=TokA1;
If TokA2>TokMaxA2 then TokMaxA2:=TokA2;
If TokB1>TokMaxB1 then TokMaxB1:=TokB1;
If TokB2>TokMaxB2 then TokMaxB2:=TokB2;
If (Put1<=0) or (Put1>=DlinOb) then
    DelUK11:=0
    else
    if Put1<RastPostSek then
        DelUK11:=RContSet*(Put1*(Iel1+TokC1C2-TokB1)
            +Put3*Iel3+Put5*Iel5)
        else
        DelUK11:=RContSet*(Put1*(Iel1-TokB1)+RastPostSek*TokC1C2
            +Put3*Iel3+Put5*Iel5);
If (Put3<=0) or (Put3>=DlinOb) then
    DelUK13:=0
    else
    if Put3<RastPostSek then
        DelUK13:=RContSet*(Put3*(Iel3+Iel1+TokC1C2-TokB1)
            +Put5*Iel5)
        else
        DelUK13:=RContSet*(Put3*(Iel3+Iel1-TokB1)+RastPostSek
            *TokC1C2+Put5*Iel5);
If (Put5<=0) or (Put5>=DlinOb) then
    DelUK15:=0
    else
    if Put5<RastPostSek then
        DelUK15:=RContSet*(Put5*(Iel5+Iel3+Iel1+TokC1C2
            -TokB1))
        else
        DelUK15:=RContSet*(Put5*(Iel5+Iel3+Iel1-TokB1)
            +RastPostSek*TokC1C2);

```

```

If (PutObr2<=0) or (PutObr2>=DlinOb) then
    DelUK22:=0
else
    if PutObr2<RastPostSek then
        DelUK22:=RContSet*(PutObr2*(Iel2+Iel4+Iel6+TokC2C1
            -TokB2))
    else
        DelUK22:=RContSet*(PutObr2*(Iel2+Iel4+Iel6-TokB2)
            +RastPostSek*TokC2C1);
If (PutObr4<=0) or (PutObr4>=DlinOb) then
    DelUK24:=0
else
    if PutObr4<RastPostSek then
        DelUK24:=RContSet*(PutObr4*(Iel4+Iel6+TokC2C1-TokB2)
            +PutObr2*Iel2)
    else
        DelUK24:=RContSet*(PutObr4*(Iel4+Iel6-TokB2)+RastPostSek
            *TokC2C1+PutObr2*Iel2);
If (PutObr6<=0) or (PutObr6>=DlinOb) then
    DelUK26:=0
else
    if PutObr6<RastPostSek then
        DelUK26:=RContSet*(PutObr6*(Iel6+TokC2C1-TokB2)
            +PutObr4*Iel4+PutObr2*Iel2)
    else
        DelUK26:=RContSet*(PutObr6*(Iel6-TokB2)+RastPostSek
            *TokC2C1+PutObr4*Iel4+PutObr2*Iel2);
If (Put1<=0) or (Put1>=DlinOb) then
    DelUR11:=0
else
    DelUR11:=RRelsSet*(Put1*(Iel1-TokB1)+Put3*Iel3
        +Put5*Iel5);
If (Put3<=0) or (Put3>=DlinOb) then
    DelUR13:=0
else
    DelUR13:=RRelsSet*(Put3*(Iel3+Iel1-TokB1)+Put5*Iel5);
If (Put5<=0) or (Put5>=DlinOb) then
    DelUR15:=0
else

```

```

DelUR15:=RRelsSet*(Put5*(Iel5+Iel3+Iel1-TokB1));
If (PutObr2<=0) or (PutObr2>=DlinOb) then
DelUR22:=0
    else
DelUR22:=RRelsSet*(PutObr2*(Iel2+Iel4+Iel6-TokB2));
If (PutObr4<=0) or (PutObr4>=DlinOb) then
DelUR24:=0
    else
DelUR24:=RRelsSet*(PutObr4*(Iel4+Iel6-TokB2)+PutObr2*Iel2);
If (PutObr6<=0) or (PutObr6>=DlinOb) then
DelUR26:=0
    else
DelUR26:=RRelsSet*(PutObr6*(Iel6-TokB2)+PutObr4*Iel4+PutObr2*Iel2);
If (Put1<=0) or (Put1>=DlinOb) then
DelURR11:=0
    else
if Put1<PutObr2 then
DelURR11:=RRelsSet*Put1*(Iel2+Iel4+Iel6-TokB2)
    else
    if Put1<PutObr4 then
        DelURR11:=RRelsSet*(Put1*(Iel4+Iel6-TokB2)+PutObr2*Iel2)
        else
            if Put1<PutObr6 then
                DelURR11:=RRelsSet*(Put1*(Iel6-TokB2)+PutObr4
                    *Iel4+PutObr2*Iel2)
                else
                    DelURR11:=RRelsSet*(PutObr2*Iel2+PutObr4*Iel4
                        +PutObr6*Iel6-Put1*TokB2);
If (Put3<=0) or (Put3>=DlinOb) then
DelURR13:=0
    else
if Put3<PutObr2 then
DelURR13:=RRelsSet*Put3*(Iel2+Iel4+Iel6-TokB2)
    else
    if Put3<PutObr4 then
        DelURR13:=RRelsSet*(Put3*(Iel4+Iel6-TokB2)
            +PutObr2*Iel2)
        else
            if Put3<PutObr6 then

```

```

DelURR13:=RRelsSet*(Put3*(Iel6-TokB2)+PutObr2
          *Iel2+PutObr4*Iel4)
else
DelURR13:=RRelsSet*(PutObr2*Iel2+PutObr4*Iel4
          +PutObr6*Iel6-Put3*TokB2);
If (Put5<=0) or (Put5>=DlinOb) then
DelURR15:=0
else
if Put5<PutObr2 then
DelURR15:=RRelsSet*Put5*(Iel2+Iel4+Iel6-TokB2)
else
if Put5<PutObr4 then
DelURR15:=RRelsSet*(Put5*(Iel4+Iel6-TokB2)+PutObr2
          *Iel2)
else
if Put5<PutObr6 then
DelURR15:=RRelsSet*(Put5*(Iel6-TokB2)+PutObr2
          *Iel2+PutObr4*Iel4)
else
DelURR15:=RRelsSet*(PutObr2*Iel2+PutObr4*Iel4
          +PutObr6*Iel6-Put5*TokB2);
If (PutObr2<=0) or (PutObr2>=DlinOb) then
DelURR22:=0
else
if PutObr2<Put5 then
DelURR22:=RRelsSet*PutObr2*(Iel5+Iel3+Iel1-TokB1)
else
if PutObr2<Put3 then
DelURR22:=RRelsSet*(PutObr2*(Iel1+Iel3-TokB1)
          +Put5*Iel5)
else
if PutObr2<Put1 then
DelURR22:=RRelsSet*(PutObr2*(Iel1-TokB1)
          +Put3*Iel3+Put5*Iel5)
else
DelURR22:=RRelsSet*(Put5*Iel5+Put3*Iel3
          +Put1*Iel1-PutObr2*TokB1);
If (PutObr4<=0) or (PutObr4>=DlinOb) then
DelURR24:=0

```

```

else
if PutObr4<Put5 then
DelURR24:=RRelsSet*PutObr4*(Iel1+Iel3+Iel5-TokB1)
else
if PutObr4<Put3 then
DelURR24:=RRelsSet*(PutObr4*(Iel1+Iel3-TokB1)
+Put5*Iel5)
else
if PutObr4<Put1 then
DelURR24:=RRelsSet*(PutObr4*(Iel1-TokB1)
+Put3*Iel3+Put5*Iel5)
else
DelURR24:=RRelsSet*(Put5*Iel5+Put3*Iel3
+Put1*Iel1-PutObr4*TokB1);
If (PutObr6<=0) or (PutObr6>=DlinOb) then
DelURR26:=0
else
if PutObr6<Put5 then
DelURR26:=RRelsSet*(PutObr6*(Iel1+Iel3+Iel5-TokB1))
else
if PutObr6<Put3 then
DelURR26:=RRelsSet*(PutObr6*(Iel1+Iel3-TokB1)
+Put5*Iel5)
else
if PutObr6<Put1 then
DelURR26:=RRelsSet*(PutObr6*(Iel1-TokB1)
+Put3*Iel3+Put5*Iel5)
else
DelURR26:=RRelsSet*(Put5*Iel5+Put3
*Iel3+Put1*Iel1-PutObr6*TokB1);
If Put1<RastPostSek then
begin
DelUKC1:=RContSet*(Put1*Iel1+Put3*Iel3+Put5*Iel5)+RastPostSek*
(TokC1C2-TokB1);
DelURC1:=RRelsSet*(Put1*Iel1+Put3*Iel3+Put5*
Iel5)+RastPostSek*(-TokB1);
end
else
if Put3<RastPostSek then

```

```

begin
DelUKC1:=RContSet*(RastPostSek*(Iel1+TokC1C2-TokB1)
+Put3*Iel3+Put5*Iel5);
DelURC1:=RRelsSet*(RastPostSek*(Iel1-TokB1)+Put3*Iel3
+Put5*Iel5);
end
else
if Put5<RastPostSek then
begin
DelUKC1:=RContSet*(RastPostSek*(Iel1+Iel3+TokC1C2
-TokB1)+Put5*Iel5);
DelURC1:=RRelsSet*(RastPostSek*(Iel1+Iel3-TokB1)
+Put5*Iel5);
end
else
begin
DelUKC1:=RContSet*RastPostSek*(Iel1+Iel3+Iel5
+TokC1C2-TokB1);
DelURC1:=RRelsSet*RastPostSek*(Iel1+Iel3+Iel5
-TokB1);
end;
If PutObr2>RastPostSek then
begin
DelUKC2:=RContSet*RastPostSek*(Iel2+Iel4+Iel6+TokC2C1-TokB2);
DelURC2:=RRelsSet*RastPostSek*(Iel2+Iel4+Iel6-TokB2);
end
else
if PutObr4>RastPostSek then
begin
DelUKC2:=RContSet*(RastPostSek*(Iel4+Iel6+TokC2C1-TokB2)
+PutObr2*Iel2);
DelURC2:=RRelsSet*(RastPostSek*(Iel4+Iel6-TokB2)+PutObr2
*Iel2);
end
else
if PutObr6>RastPostSek then
begin
DelUKC2:=RContSet*(RastPostSek*(Iel6+TokC2C1-TokB2)
+PutObr2*Iel2+PutObr4*Iel4);

```

```

DelURC2:=RRelsSet*(RastPostSek*(Iel6-TokB2)+PutObr2
                *Iel2+PutObr4*Iel4);
end
else
begin
DelUKC2:=RContSet*(RastPostSek*(TokC2C1-TokB2)
                +PutObr2*Iel2+PutObr4*Iel4+PutObr6*Iel6);
DelURC2:=RRelsSet*(RastPostSek*(-TokB2)+PutObr2
                *Iel2+PutObr4*Iel4+PutObr6*Iel6);
end;
{ ъ бзГв @ŸñËë Ī@БГам впJ@Ÿ©© бГвË }
DelUOR11:=DelUR11+DelURR11;
DelUOR13:=DelUR13+DelURR13;
DelUOR15:=DelUR15+DelURR15;
DelUOR22:=DelUR22+DelURR22;
DelUOR24:=DelUR24+DelURR24;
DelUOR26:=DelUR26+DelURR26;
DelU11:=DelUK11+DelUOR11;
DelU13:=DelUK13+DelUOR13;
DelU15:=DelUK15+DelUOR15;
DelU22:=DelUK22+DelUOR22;
DelU24:=DelUK24+DelUOR24;
DelU26:=DelUK26+DelUOR26;
DelUC1:=DelUKC1+DelURC2+DelURC1;
DelUC2:=DelUKC2+DelURC1+DelURC2;
DelPS1:=(Iel1*DelU11)/1000;
DelPS3:=(Iel3*DelU13)/1000;
DelPS5:=(Iel5*DelU15)/1000;
DelPS2:=(Iel2*DelU22)/1000;
DelPS4:=(Iel4*DelU24)/1000;
DelPS6:=(Iel6*DelU26)/1000;
DelPS:=DelPS1+DelPS2+DelPS3+DelPS4+DelPS5+DelPS6;
PA:=3*(TokA1+TokA2);
PB:=3*(TokB1+TokB2);
Tok:=TokA1+TokA2+TokB1+TokB2;
TokP:=Iel1+Iel2+Iel3+Iel4+Iel5+Iel6;
g38:=FloatToStr(TokA1);
g40:=FloatToStr(TokA2);
g44:=FloatToStr(PA);

```



```

g46:=FloatToStr(TokB1);
g48:=FloatToStr(TokB2);
g52:=FloatToStr(PB);
if eee<5 then
begin
g55:=FloatToStr(NomUTS-DelU11);
g56:=FloatToStr(NomUTS-DelU22);
g57:=FloatToStr(NomUTS-DelU13);
g58:=FloatToStr(NomUTS-DelU24);
g59:=FloatToStr(NomUTS-DelU15);
g60:=FloatToStr(NomUTS-DelU26);
end
else
begin
g55:=FloatToStr(NomUTS);
g56:=FloatToStr(NomUTS);
g57:=FloatToStr(NomUTS);
g58:=FloatToStr(NomUTS);
g59:=FloatToStr(NomUTS);
g60:=FloatToStr(NomUTS);
end;
Label38.Caption:=g38;
Label40.Caption:=g40;
Label44.Caption:=g44;
Label46.Caption:=g46;
Label48.Caption:=g48;
Label52.Caption:=g52;
Label55.Caption:=g55;
Label56.Caption:=g56;
Label57.Caption:=g57;
Label58.Caption:=g58;
Label59.Caption:=g59;
Label60.Caption:=g60;
Vrem:=Vrem+1;
h:=IntToStr(Vrem {div 100});
Label53.Caption:=h;
{ if Vrem mod 100=0 then begin }
Application.ProcessMessages();
Sleep(50);

```

```

UsIdv5:=UsIdv4; UsIdv4:=UsIdv3; UsIdv3:=UsIdv2; UsIdv2:=UsIdv1; UsIdv1:=Idv1;
UsId1:=(UsIdv5+UsIdv4+UsIdv3+UsIdv2+UsIdv1)/5;
UsSk5:=UsSk4; UsSk4:=UsSk3; UsSk3:=UsSk2; UsSk2:=UsSk1; UsSk1:=Skor1;
UsSk:=(UsSk5+UsSk4+UsSk3+UsSk2+UsSk1)/5;
UsSk52:=UsSk42; UsSk42:=UsSk32; UsSk32:=UsSk22; UsSk22:=UsSk12; UsSk12:=Skor2;
UsSk2:=(UsSk52+UsSk42+UsSk32+UsSk22+UsSk12)/5;
UsTy51:=UsTy41; UsTy41:=UsTy31; UsTy31:=UsTy21; UsTy21:=UsTy11; UsTy11:=TyagaP1;
UsTy1:=(UsTy11+UsTy21+UsTy31+UsTy41+UsTy51)/5;
UsTy52:=UsTy42; UsTy42:=UsTy32; UsTy32:=UsTy22; UsTy22:=UsTy12; UsTy12:=TyagaP2;
UsTy2:=(UsTy12+UsTy22+UsTy32+UsTy42+UsTy52)/5;
UsI5:=UsI4; UsI4:=UsI3; UsI3:=UsI2; UsI2:=UsI1; UsI1:={UsId1}Iel1;
UsI:=(UsI5+UsI4+UsI3+UsI2+UsI1)/5;
UsI52:=UsI42; UsI42:=UsI32; UsI32:=UsI22; UsI22:=UsI12; UsI12:={UsId2}Iel2;
UsI2:=(UsI52+UsI42+UsI32+UsI22+UsI12)/5;
if UsI<=0 then {begin} Pdv1:=0;
f11:=Skor1*mu1*p1/(11.28*Dkolesa1);
RasEner1:=RasEner1+0.000833*Iel1;
RasEner2:=RasEner2+0.000833*Iel2;
if Iel1<=1 then begin Tyaga1:=0; Pdv1:=0; end; if Pdv1<=0 then Pdv1:=0.1;
if Pdv1>2*NomMochn1 then Pdv1:=NomMochn1*2;
if PdvP/Pdv1>1 then kpd1:=0 else kpd1:=PdvP/Pdv1; if kpd1<0 then kpd1:=0;
writeln(FDD,Vrem:10,'',{PdvP:8:4,'Pdv1:8:4,'kpd1:8:4,' ',
TyagaP:8:4,'UsTy:8:4,'Skor1:8:4,'},{UsSk:8:4,'SopDvi:8:4,' ',
UdSopPo1:8:4,'UklUch11:8:4,'PrUklUch11:8:4,' ',
ksi1:8:4,'UdTyagaPr1,'},{Put1:10:2,'Usk1:8:4,'U1*1.73:8:4,' ',
UsId1:8:4,'cofi1:8:4,'f11:8:4,'f2:8:4,'delfX:8:4,' ',
Potok1:8:4,'Bz1:8:4,'Bd1:8:4,'SumF1:8:4,'Imu1:8:4,' ',
Irp1:8:4,'},{UsI{Iel1}:8:4,'n21:8:4,'SopTor1:8:4,'TorSila1:8:4,' },
(UklOb*5-300):8:4,'{Kriv-500:8,'ZSkor1:8:2,'eee:8,'g:8,' ',
(NomUTS-DelU11):8:4,'(NomUTS-DelU11)*Iel1:8:4,' ');
if (Skor2<=1) and (Put2>=DlinOb) then Put22:=0 else Put22:=Put2;
writeln(FDD,Vrem:10,#9, {Us} Skor1:8:4,#9,Put1:8:2,#9,(UklOb*5-300):8:4,#9,
{UsI} Iel1:8:4,#9,U1:8:4,#9,RasEner1:8:4,#9,UsSk2:8:4,#9,Put22:8:2,#9,
(UklOb2*5-300):8:4,#9{UsI2},Iel2:8:4,#9,U2:8:4,#9,RasEner2:8:4,#9,
TokA1:8:2,#9,TokA2:8:2,#9,(TokA1+TokA2):8:2,#9,TokB1:8:2,#9,TokB2:8:2,#9,
(TokB1+TokB2):8:2,#9,DelU11:8:2,#9,DelU22:8:2,#9,DelU13:8:2,#9,
TokC1C2:8:2,#9,DelPS:8:2);
until Vrem> 2000;
CloseFile(FDD); { ShowMessage('KonSkor1='+FloatToStr(0)); }

```

```

Writeln(FDF,'Подстанция A');
Writeln(FDF,'Среднее значение тока подстанции A ',TokSrA/(Vrem+1):6:2,' A');
Writeln(FDF,'Действующее значение тока подстанции A ',Sqrt(TokEffA/(Vrem+1)):6:2,' A');
Writeln(FDF,'Максимальное значение тока подстанции A ',TokMaxA:6:2,' A');
Writeln(FDF,'Максимальное значение тока фидера 1 подстанции A ',TokMaxA1:6:2,' A');
Writeln(FDF,'Максимальное значение тока фидера 2 подстанции A ',TokMaxA2:6:2,' A');
Writeln(FDF,'Мощность подстанции A на тягу поездов ',1.05*3.3*Sqrt(TokEffA/(Vrem+1)):6:2,' kBA');
    Writeln(FDF,' ');
    Writeln(FDF,'Подстанция B');
Writeln(FDF,'Среднее значение тока подстанции B ',TokSrB/(Vrem+1):6:2,' A');
Writeln(FDF,'Действующее значение тока подстанции B ',Sqrt(TokEffB/(Vrem+1)):6:2,' A');
Writeln(FDF,'Максимальное значение тока подстанции B ',TokMaxB:6:2,' A');
Writeln(FDF,'Максимальное значение тока фидера 1 подстанции B ',TokMaxB1:6:2,' A');
Writeln(FDF,'Максимальное значение тока фидера 2 подстанции B ',TokMaxB2:6:2,' A');
Writeln(FDF,'Мощность подстанции B на тягу поездов ',1.05*3.3*Sqrt(TokEffB/(Vrem+1)):6:2,' kBA');
    CloseFile(FDF);
end;
procedure TUSchet.Button3Click(Sender: TObject);
begin
E:=CreateOleObject('Excel.Application');
E.Visible:=true;
E.WorkBooks.Open('C:\Электротяга\Тяга поездов2\Magistr.dat');
end;
end.

```

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. МЕТА, ЗАДАЧІ ТА ВИХІДНІ ДАНІ .....	5
1.1. Мета проектування.....	5
1.2. Задачі проектування.....	5
1.3. Вихідні дані.....	6
2. РІШЕННЯ ТЯГОВОЇ ЗАДАЧІ.....	8
2.1. Загальні положення.....	8
2.2. Визначення кривих руху поїзда.....	8
2.3. Визначення струму і енергії, споживаною ЕРС.....	18
3. ОПИС ПРОГРАМНО–АЛГОРИТМІЧНОГО КОМПЛЕКСУ .....	20
4. РІШЕННЯ ТЯГОВОЇ ЗАДАЧІ.....	29
4.1. Опис програми PotyagVV.....	29
4.2. Опис програми PotyagA.....	34
4.3. Результати рішення тягової завдання і їх аналіз.....	80
5. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ І ПІДСТАНЦІЇ.....	84
5.1. Опис програми PodTyag .....	84
5.2. Опис програми PodNap.....	95
5.3. Результати розрахунку режимів роботи тягової мережі і підстанції і їх аналіз .....	112
6. ВИБІР СИЛОВОГО УСТАТКУВАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ.....	115
6.1. Опис тягової підстанції постійного струму.....	115
6.2. Вибір перетворювальних агрегатів .....	116
6.3. Розрахунок струмів короткого замикання.....	118
6.4. Вибір апаратури захисту .....	120
7. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ І ОФОРМЛЕННЯ ПРОЕКТУ .....	125
ВИСНОВКИ.....	158
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	159
ДОДАТОК А.....	160

Навчальне видання

**Любарський Борис Григорович**  
**Якунін Дмитро Ігорович**  
**Овер'янова Лілія Вікторівна**  
**Демидов Олександр Вікторович**

**ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ,  
РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ  
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З АСИНХРОННИМ ТЯГОВИМ  
ДВИГУНОМ**

Навчально-методичний посібник  
для студентів спеціальності 6.050702 «Електричний транспорт»  
усіх форм навчання

Роботу до видання рекомендував В.Г. Маслієв

У авторській редакції

План 2015 р., поз. 167

Підписано до друку \_\_\_\_\_. Формат 60×84 1/16. Папір офісний.  
Друк-ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 11,9.  
Наклад 100 прим. Зам. № Ціна договірна.

---

Видання НТУ «ХП»

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №3657 від 24.12.2009р.  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Друкарня поліграфцентр «Влавке», ФОП Панов А.М.  
Свідоцтво серія ДК№4847 61002, від 06.02.2015 р.  
М. Харків, вул. Радноркомівська, 10 оф.6