## 4 Методические указания по подготовке к РГР.

Расчетно-графическая работа выполняется после изучения дисциплины с целью закрепления и систематизации знаний студентов по общетехническим и специальным дисциплинам, а также с целью развития у студентов способности самостоятельно применять полученные теоретические знания в практической работе по расчету оборудования и способности аргументировать применяемые технические решения.

РГР состоит из пояснительной записки, расчетов и графической части, состоящей из графиков, иллюстрирующих выполненные решения заданий РГР.

Пояснительная записка должна содержать: титульный лист, задание на РГР, содержание РГР, введение, расчетную часть, графики.

Расчетная часть должна содержать исходные параметры, эскизы и расчетные схемы (если таковые есть, расчеты.

Введение

Задание 1. Определить мощность и число СКЗ магистрального трубопровода диаметром *Д*, мм, с толщиной стенки *δ*, мм, протяженностью км. Трубопровод проложен на местности с удельным электросопротивлением *ρгр*, Ом·м. Анодное заземление проектируется выполнить из вертикальных упакованных электродов, дренажную линию – воздушной с подвеской из алюминиевого провода или уложенного в траншею (вариант задания). Начальное переходное сопротивление «трубопровод-грунт» *Rпн*, Ом·м2. Средняя стоимость электроэнергии *Сэ*, руб/кВт·час.

Задание 2. Требуется определить протяженность защитной зоны протекторной установки и срок службы протекторов, подключенных к магистральному трубопроводу диаметром *Д*, мм, уложенному в грунт с удельным сопротивлением *ρг*р, Ом·м. Трубопровод имеет изоляционное покрытие с переходным сопротивлением *Rпн*, Ом·м2 (вариант задания). Протекторы установлены на глубине *h* = 2 м, на расстоянии *a* = 5 м друг от друга в группе.

Задание 3. Требуется определить срок службы и число протекторов типа ПМ для защиты днища резервуара РВС, установленного на площадке с увлажненным песком *ρгр*, Ом·м. Расстояние от резервуара до протектора в метрах (выполняется по требованию преподавателя).

2 СОДЕРЖАНИЕ РГР (пример выполнения) ЗАДАНИЕ 1

Определить мощность и число СКЗ магистрального трубопровода диаметром *Д*, мм, с толщиной стенки , мм, протяженностью км. Трубопровод проложен на местности с удельным электросопротивлением *гр*, Омм. Анодное заземление проектируется выполнить из вертикальных упакованных электродов, дренажную линию – воздушной с подвеской из алюминиевого провода или уложенного в траншею.

Начальное переходное сопротивление «трубопровод-грунт» *Rпн*, Омм2. Средняя стоимость электроэнергии *Сэ*, руб/кВтчас.

Таблица 1 – Исходные условия

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | *Д*, мм | , мм | *Zобщ*,  км | *гр*,  Омм | Марка электрода | Тип дренажной  линии | *Rпн*,  Омм2 | *Сэ*,  руб/кВт час |
| – | 820 | 9 | 1800 | 25 | АК-1 | АСБ-1  в траншее | 7000 | 0,007 |

Решение

Определяем продольное сопротивление единицы длины трубопровода по формуле

*RТ* 

*T*

   *D*   

где *ρТ*– удельное электросопротивление трубной стали, в среднем *ρТ* =0,245 Ом·мм2/м

0, 245106

*RТ*  3,14  0, 009  0,820  0, 009  10, 689 10

6 *Ом*

*м*

Сопротивление единицы длины изоляции к концу нормативного срока службы СКЗ по формуле

*Rиз*

 *Rпн*

  *Д*

 *e*  *uc*

где *Rп* – переходное сопротивление «трубопровод-грунт» в начале эксплуатации, Ом·м2;

*β* – показатель скорости старения 1/год, (показатель амортизации 8 лет);

*τис* – нормативный срок службы СКЗ (9,5 лет)

*Rиз*

 7000

3,14  0,820

 *e*0,1259,5  829,144 *Ом*

*м*

Сопротивление единицы длины изоляции в среднем за нормативный срок службы СКЗ по формуле

*Rиз*.*ср*

 *Rпн*

  *Д*   *uc*

 1  *e*  *uc* 

*Rиз*.*ср*

 7000

3,14  0,820  0,125  9,5

 1  *e*0,1259,5   1591,176 *Ом*

Среднее значение входного сопротивления трубопровода за нормативный срок эксплуатации катодных установок по формуле

*м*

*Zcp*  0,5

*RТ*  *Rиз*.*ср*

*Zcp*  0,5

10, 689 106 1591,176

То же к концу нормативного срока по формуле

*ZK*  0,5

*RТ*  *Rиз*

*ZK*  0,5

10, 689 106 829,144

 0, 0652*Ом*

 0, 047*Ом*

Постоянная распределения токов и потенциалов вдоль трубопровода к концу нормативного срока эксплуатации катодных установок по формуле

*RT*

*Rиз*

 

   0, 000114

10, 689 106

829,144

Задаем удаление анодного заземления от трубопровода *у* = 350 м и определяем параметр по формуле

  *гр*

2   *ZK*  *y*

  25

 0, 242

2  3,14  0, 047  350

Коэффициент взаимного влияния СКЗ определяем по формуле

*KB* 

1  1   min   1   

 *E*

2

 *E*max 

1

где *Е*max – максимальный потенциал в точке подключения катодной защиты;

*Е*min – минимальный потенциал на границе зон действия смежных СКЗ

*KB* 

1  1   0, 3   1  0, 242

2

 0,55 







1

 0,557

Протяженность зоны защиты одной СКЗ к концу нормативного срока эксплуатации определяем по формуле

*l*  2  ln 

*E*max 

*скз* 



 *B* min

*K*

 *E*

 1    

*l*  2

 ln 

0,55

  17105*м*  17,105*км*

*скз*

0, 000114

 

 0,557  0, 31  0, 242 

Определяем среднее значение силы тока нагрузки СКЗ по формуле

*E*max

*Z*  1  2  *e**lскз*   

*cp*

*Iдр*

*I* 



0,55

 8,81*A*

*др* 0, 0652  1  2  *e*0,00011417105  0, 242

Примем, что глубина заложения середины электродов анодного заземления *h* = 2 м, а расстояние между ними равно 7 м, определим сопротивление растеканию с одиночного вертикального электрода по формуле

*R*  0,16  *гр*   ln 2  *Lэ*  1  ln 4  *h*  *Lэ* 

1*B L*  *d* 2 4  *h*  *L* 

*э*  *э* 

*R*  0,16  25   ln 2 1, 4  1  ln 4  2  1, 4   12, 001*Ом*

1*B* 1, 4  0, 05 2 4  2 1, 4 

 

Таблица 2 – Техническая характеристика комплектных анодных заземлителей

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Материал электрода | Размеры, мм | | | | Масса, кг | | Эл. хим. эквивалент, кг/А∙год |
| электрод | | общие | | электр. | общая |
| диаметр | длина | диаметр | длина |
| АК-1 | сталь железокрем. | 50 | 1400 | 185 | 1420 | 21 | 60 | 1,0 |
| АК-3 | 40 | 1400 | 185 | 1420 | 12 | 53 | 0,12 |
| АК-1 Г | 68 | 1400 | 225 | 1700 | 41 | 90 | 0,12 |
| АК-2Г | 40 | 1400 | 150 | 1700 | 12 | 60 | 0,12 |
| ЗЖК-12-КА | 30 | 1400 | 185 | 1425 | 80 | 40 | 0,12 |
| ЗЖК-41п-КА | 68 | 1400 | 240 | 1700 | 41 | 100 | 0,12 |
| АКЦ | сталь | 50 | 1700 | 150 | – | 26 | – | 1,0 |

Примем число электродов анодного заземления *n* = 5 и по формуле

*A*  2  *h*

*i*

*Bi* 

*i*  *a Lэ*

2  *i*  *a*

где *а* – расстояние между серединами электродов, м

*A*  2  2  0,571

1 1 7

*B*1 

1, 4

2 1 7

 0,1

*A*  2  2  0, 286

2 2  7

*B*2 

1, 4

2  2  7

 0, 05

*A*  2  2  0,19

3 3 7

*B*3 

1, 4

2  3 7

 0, 001111

*A*  2  2  0,143

4 4  7

*B*4 

1, 4

2  4  7

 0, 000625

*A*  2  2  0,114

5 5  7

*B*5 

1, 4

2  5  7

 0, 0004

Сопротивление растеканию с центрального электрода заземления определяем по формуле

где *Fi*– функция

*Rц*  *R*1

* *гр*

  *Lэ*

*n*1

*  *Fi*

2

*i*1

 

*A*  *Б* 

*i* *i*

1 *A*  *Б*



*i* *i*

*A*  *Б* 







2

2

*i* *i*

1 *A*  *Б*

*i* *i*

*F*  ln  *Б*  1 *Б* 2  

*i*  *i i* 

 

 

Таблица 3 – Расчетные данные

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *i* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *Ai* | 0,571429 | 0,285714 | 0,190476 | 0,142857 | 0,114286 |
| *Бi* | 0,1 | 0,05 | 0,033333 | 0,025 | 0,02 |
| *Fi* | 0,18663 | 0,098041 | 0,066067 | 0,049744 | 0,039868 |

*Rц*  12, 001 

25

3,14 1, 4

* 0,18663  0, 098041  17, 973*Ом*

Сопротивление растекания с крайнего электрода анодного заземления определяем по формуле

*R*  *R*  *гр*

*K* 1 2   *L*

*э*

*n*1

* *Fi*



*i*1

*RK*  12, 001 

25 

2  3,14 1, 4

 0,18663  0, 098041  0, 066067  0, 049744  15, 245*Ом*

Коэффициент экранирования электродов анодного заземления определяем по формуле

  2  *R*1

*э R*  *R*

*э* 

*ц K*

2 12, 001

17, 973  15, 245

 0, 7225

Оптимальное число электродов анодного заземления определяем по формуле

*n*  *I*

8, 76  *R*1 *Э*

*а*  *Н* *Э*     

*ОПТ ДР*

где *R*1 – сопротивление растеканию одиночного электрода, Ом;

*Э* – средняя стоимость электроэнергии, руб/кВт·час;

*а* – стоимость одного электрода (25 руб./шт.);

*η* – КПД катодной установки (0,7);

*ε* – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений (0,12 1/год);

 – норматив амортизационных отчислений для установок электрохимической защиты

(0,148 1/год)

*nonm*

 8,81  5, 0012  5

То есть принятое расчетное число электродов совпадает.

8, 76 12, 001 0, 02

25 0, 7  0, 95 0, 7225 0,12  0,148

Сопротивление растеканию тока с анодного заземления определяем по формуле

*Ra* 

*R*1

*n* *э*

*Ra* 

12, 001

5  0, 7225

 3, 32*Ом*

Оптимальное значение дренажного провода определяем по формуле

*Snp*.*onm*  2, 95 *Iдр* 

*э*  *np*

*c*1      

где *с*1 – коэффициент зависимости стоимости устройства 1 п.м. дренажной линии (0,01 руб/м·мм2)

0, 02  0, 02

0, 01 0, 72250,12  0,148

*Snp*.*onm*

 2, 958,81  9, 01*мм*2

Выбираем сечение 10 мм2.

Сопротивление дренажной линии определяем по формуле

*RПР*

 *пр*  *lПР*

*S*

*RПР*

*ПР*

 0, 02 350  0, 7 *Oм*

10

Среднее значение напряжения на выходных контактах СКЗ определяем по формуле

*E*  *E*max  *E*min

* *Iдр*  *Rnp*  *Ra* 

*E*  0,55  0, 3  8,810, 7  3, 32  35, 66*B*

Средняя величина мощности, потребляемой СКЗ, определяется по формуле

*Pскз*  *Iдр*  *E*

*Pскз*  8,81 35, 66  314,165*Bm*

Выбираем тип станции.

Нам подходит КСГ (КСК) – 500 со следующими характеристиками (таблица 4).

Таблица 4 – Технико-экономические характеристики катодной станции КСГ (КСК) – 500

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип катодной станции | Номинальные выходные параметры | | | Стоимость (1980 г.), руб. |
| Мощность,  кВт | Напряжение, В | Ток, А |
| КСГ (КСК) –  500 | 0,5 | 10÷50 | 10 | 122 |

Определяем количество станций

*N*  *Zобщ*

*lcкз*

*N*  1800

17,105

 105*шт*.

ЗАДАНИЕ 2

Требуется определить протяженность защитной зоны протекторной установки и срок службы протекторов, подключенных к магистральному трубопроводу диаметром *Д*, мм, уложенному в грунт с удельным сопротивлением *гр*, Омм. Трубопровод имеет изоляционное покрытие с переходным сопротивлением *Rпн*, Омм2.

Протекторы установлены на глубине *h* = 2 м, на расстоянии *a* = 5 м друг от друга в группе.

Таблица 5 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | *Д*, мм | *гр*,  Омм | *Rпн*,  Омм2 | *N*, штук число протекторов | *В*, м,  расстояние от протектора до трубы | Марка протектора |
| 10 | 630 | 50 | 5103 | 3 | 6 | ПМ-10У |

Решение

Сопротивление изоляции трубопровода на единице длины *Rиз.к* определяется по следующей формуле при заданном *Rп.к*

*Rиз*.*к*

5 103

 *Rпн*

  *Dн*

*Rиз*.*к*  3,14  0, 63  2527,55*Ом*  *м*

Сопротивление растеканию тока с протекторной установки, при вертикальном расположении протекторов

*R*  0, 366  *гр*   ln 2  *lак*  1  ln 4  *hnp*  *lак*  *ак*  ln *dак* 

*np l*  *n*   *d* 2 4  *h*  *l*  *d* 

*ак э*  *ак np ак гр np* 

где *ρгр* – удельное сопротивление грунта, окружающего комплектный протектор;

*ρак* – удельное сопротивление активатора;

*dак*, *lак* – соответственно диаметр и длина активатора, (комплектного протектора);

*dпр* – диаметр протектора, м;

*hпр* – глубина установки протектора (от поверхности земли до середины протектора);

*n* – число протекторов в установке;

*ηэ* – коэффициент, учитывающий взаимное экранирование вертикальных протекторов в группе. Для ориентировочных расчетов может быть принят равным 0,7, при защите одиночными протекторами *ηэ* = 1,0.

Размеры протектора принимаем из таблицы 6.

Таблица 6 – Техническая характеристика магниевых протекторов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип протектора | Размеры протектора, мм | | | | Масса, кг |
| *ln* | *dn* | *la* | *da* |
| ПМ-10У | 600 | 123 | 700 | 200 | 10 |

*R*  0, 366  50  ln 2  0, 7  1  ln 4  2  0, 7  0, 2  ln

0, 2

  26,17*Ом*

*np* 0, 7  3 0, 7  0, 2 2 4  2  0, 7 50 0,123 

 

Протяженность защитной зоны протекторной установки

*l*  *Rиз*.*к*   *Enp*

 1

*Rnp*

*E*

*n*

 

 min 

где *Епр* – потенциал протектора до подключения его к трубопроводу, В

*l*  2527,55   1, 6

1  85, 22*м*

*n* 26,17  0,85 

 

Сила тока протекторной установки при подключении ее к трубопроводу

*In*  *R*  *R*

*En*  *Eecm*

*mp np*

где *Еест* – естественный (стационарный) потенциал, существующий до включения защиты, находится в интервале от минус 0,23 до минус 0,72 В. Если не имеется точных данных о величине естественного потенциала стали в рассматриваемом грунте, то рекомендуется принимать *Еmin* = – 0,55 В;

*Rтр* – сопротивление растеканию тока защищаемого участка трубопровода

*Rmp* 

2  *h*    *ln*

2

*Rm*  *Rиз*.*к*

здесь *Rт* – продольное сопротивление трубопровода на единице длины, определяемое по формуле

*Rm*  

*cm*

106

 *Dн*  *н*  *н*

 6

0, 245 10 6

*Rm*  3,14  0, 63  0, 014  0, 014  9, 0510

*Ом* / *м*

*α* – постоянная распределения потенциалов и токов вдоль трубопровода, определяемая по формуле

 

*Rm Rиз*.*к*

   50, 98 106 9, 05 106  2527,55

9, 05 106

2527,55

*Rmp* 

2  2 

50, 98 106 85, 22  17, 4*Ом*

2

1, 6  0,55

17, 4  26,17

Анодная плотность тока

*In*   0,12 *A*

*ja* 

*n*    *d*

*In*

 *l*  2  0, 785 *d* 2 

*j*  0,12

*n n n*

 0,136*А* / *м*2  1, 36*мА* / *дм*2

*a* 33,14  0,123 0, 7  2  0, 785 0,1232 

Срок службы протекторной установки

*T*  *Mn*  *n* *u* *n*

*qn*  *In*

где *Mn* – масса одного протектора;

*n* – число протекторов одной протекторной установке;

*qп* – электрохимический эквивалент материала протектора, для магниевых протекторов

*qп* = 3,95 кг/(А·год);

*ηи* – коэффициент использования протекторов равный 0,95;

*ηп*– коэффициент полезного действия протектора, зависящий от анодной плотности тока и определяемый по графику [2]

*T*  10  3 0, 95 0, 38  22,85 *года*

3, 95 0,12

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Земенков Ю.Д. и др. Справочник инженера по эксплуатации нефтегазопроводов и продуктопроводов. – М.: Инфра-Инженерия, 2006. – 928 с.
2. Тигунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршак А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Учебное пособие для ВУЗов. – Уфа: Дизайн-Полиграфсервис, 2002. – 668 с.
3. Бахмат Г.В., Васильев Г.Г., Гольянов А.И. и др. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах. Под общ. ред. Земенкова Ю.Д. – М.: Недра, 2004. – 544 с.