

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
МАГИСТРАЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ
•ВНИИСТ•

руководство

ПО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
НА ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Р 283-77

МОСКВА-1977

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВЕЩОУЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
МАГИСТРАЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ
•ВНИИСТ

руководство

ПО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
НА ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Р 283-77

УДК 621.645.002.2(204.1) : 620.197.5

В Руководстве изложен принцип подхода к решению вопросов электрохимической защиты магистральных трубопроводов на подводных переходах. Приведен расчет влияния подводного перехода на параметры катодной защиты; расчет дополнительной протекторной защиты с использованием спирального протектора.

В Руководстве даны номограммы для определения коэффициентов влияния подводных переходов магистральных трубопроводов на катодную защиту при заданных граничных условиях изменения параметров подводных переходов и электрохимической защиты. Содержатся необходимые мероприятия по технике безопасности при электрометрических работах на подводных переходах.

Руководство составлено канд. техн. наук В.В. При тулой при участии ст. инж. Р.В. Кудиновой и инж. М.И. Долганова.

ВНИИСТ	Руководство по электрохимической защите магист- ральных трубопроводов на подводных переходах	Р 283-77
--------	---	----------

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Руководство распространяется на подводные переходы магистральных трубопроводов через реки и пресноводные водоемы, имеющие катодную защиту и не подверженные влиянию охлаждающих токов.

1.2. Влияние подводного перехода (обычно) вызывает ускоренное затухание наложенного потенциала вдоль плеча защитной зоны, что приводит к сокращению ее протяженности (рис. 1, 2).

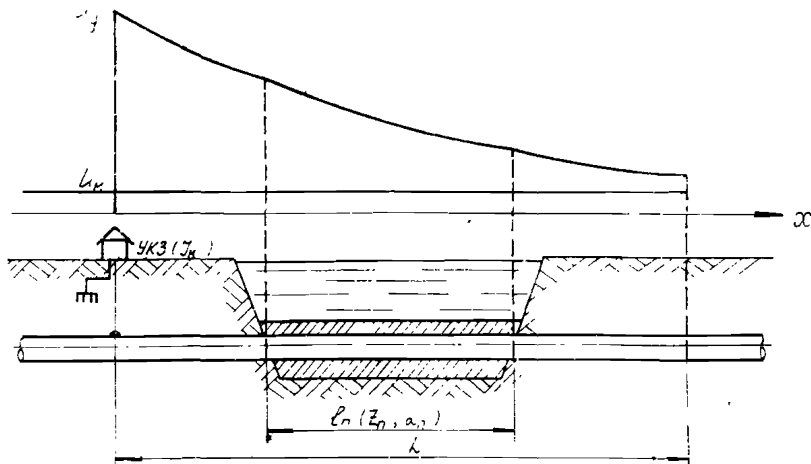


Рис.1. Возможное изменение наложенных потенциалов вдоль плеча зоны защиты трубопровода с подводным переходом

Внесено ВНИИСТом	Утверждено ВНИИСТом 1 августа 1977 г.	Разработано впервые
---------------------	--	------------------------

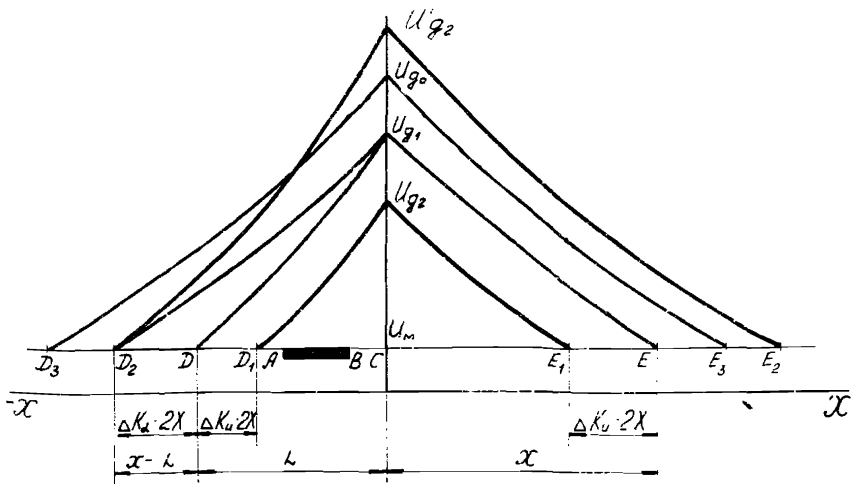


Рис.2. Возможное влияние параметров α_n и Z_n подводного перехода на изменение длины зоны защиты установки катодной защиты (УКЗ):

AB - подводный переход; D_1CE_1 - реальная зона защиты катодной станции с подводным переходом; D_2CE - зона защиты при условии отсутствия подводного перехода; D_2D - уменьшение защитной зоны в результате влияния параметра α_n ; D_1D , E_1E - уменьшение защитной зоны в результате влияния параметра Z_n ; D_2CE_2 - зона защиты катодной станции при условии сохранения плеча защиты на подводном переходе протяженностью D_2C ; D_3CE_3 - зона защиты катодной станции, эквивалентная зоне D_2CE_2 при условии отсутствия подводного перехода; U_{g_2} - потенциал в точке дренажа УКЗ на участке с подводным переходом при защитном токе $J = J_K$; U_{g_1} - потенциал в точке дренажа при отсутствии подводного перехода для $J = J_K$; U_{g_2} - потенциал в точке дренажа на участке с подводным переходом для защитного тока $J > J_K$

1.3. При катодной защите подводных переходов магистральных трубопроводов установки катодной защиты следует располагать непосредственно у перехода.

1.4. В качестве дополнительных мер защиты на подводных переходах можно устанавливать протекторы. Целесообразность их установки следует определять на основании технико-экономического расчета, учитывающего влияние перехода на параметры катодной защиты.

1.5. В дополнительных протекторных установках могут быть использованы литые, протяженные и спиральные протекторы.

2. РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПОДВОДНОГО ПЕРЕХОДА НА ПАРАМЕТРЫ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

2.1. Влияние подводного перехода на параметры катодной защиты магистрального трубопровода следует рассчитывать с учетом прогнозирования изменения сопротивления изоляционного покрытия в период эксплуатации.

2.2. Исходными данными для расчета влияния подводного перехода на параметры катодной защиты магистрального трубопровода служат следующие параметры:

- l_n - длина подводного перехода, км;
- L - длина плеча защитной зоны с подводным переходом, км;
- χ - длина плеча защитной зоны без подводного перехода, км;
- R_{12} - среднее переходное сопротивление трубопровода на подземных участках, Ом·м;

$$R_{12} = \sqrt{\prod_{i=1}^m \frac{z_{12} x^2}{l_n^2 \frac{U_q}{U_{x_i}}}} \quad \text{или} \quad R_{12} = R_{T_n} e^{-0.125t};$$

- U_{x_i} - измеренные значения наложенных потенциалов на подземных участках трубопровода, В;
- R_{T_n} - начальное переходное сопротивление трубопровода (в соответствии с ГОСТ 9.015-74), Ом·м;
- x - координаты точек измерения наложенных потенциалов, м;
- m - количество измерений;
- t - срок службы трубопровода, лет;

R_n - среднее переходное сопротивление трубопровода на подводном переходе, Ом·м ;

$$R_n = \frac{U_g^2 R_{12} \ell_n}{L (J_k z_{12} - U_g)^2 - U_g^2 (L - \ell_n)}$$

или

$$R_n = \sum_1^{i=n} z_{ni}^{-1} \left[\sum_1^{i=n} (z_{ni} R_{ni})^{-\frac{1}{2}} \right]^{-2} ;$$

z_{12} - продольное сопротивление трубопровода на подземных участках, Ом/м ;

z_n - среднее продольное сопротивление трубопровода на участке подводного перехода, Ом/м ;

$$z_n = \left(\sum_1^{i=n} z_{ni}^{-1} \right)^{-1} ;$$

при одинаковых электрических параметрах всех ниток подводного перехода можно считать:

$$R_n = \frac{R_{ni}}{n} ; \quad z_n = \frac{z_{ni}}{n} ;$$

J_k - защитный ток установки катодной защиты у подводного перехода, А ;

U_g - наложенный потенциал в точке дренажа установки катодной защиты у подводного перехода, В ;

U_M - минимальный защитный потенциал в конце плеч защитной зоны, наложенный одной установкой катодной защиты, В ;

U_{g0} - возможный наложенный потенциал в точке дренажа установки катодной защиты при условии отсутствия подводного перехода, В ;

$$U_{g0} = \frac{1}{2} J_k z_{12} ;$$

z_{12} - входное сопротивление плеча защитной зоны без подводного перехода, Ом ;

$$z_{12} = \sqrt{z_{12} R_{12}} ;$$

z_3 - эквивалентное входное сопротивление плеча защитной зоны с подводным переходом, Ом ;

$$z_3 = \frac{4 z_{12} z_n}{3 z_n + z_{12}} ;$$

Z_n - входное сопротивление подводного перехода, Ом :

$$Z_n = \sqrt{z_n R_n} ;$$

α_{12} - коэффициент распространения тока вдоль подземных участков трубопровода, 1/м :

$$\alpha_{12} = \sqrt{\frac{z_{12}}{R_{12}}} ;$$

α_3 - эквивалентный коэффициент распространения тока вдоль плеча защитной зоны с подводным переходом, 1/м

$$\alpha_3 = \frac{z_3}{R_3} = \frac{K_n (\alpha_n \sqrt{R_{12}} - \sqrt{z_{12}}) + \sqrt{z_{12}}}{\sqrt{R_{12}}} ,$$

α_n - коэффициент распространения тока вдоль подводного перехода, 1/м :

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{z_n}{R_n}} ;$$

R_3 - эквивалентное среднее переходное сопротивление трубопровода на переходное сопротивление трубопровода, Ом·м :

$$R_3 = q R_{12} ;$$

q - коэффициент длины подводного перехода

$$q = \frac{4\sqrt{K_2}}{\sqrt{K_n} [K_n(3K_2 - 1) + 1] - \sqrt{K_2} [K_n(3K_2 - 3)]} ;$$

K_n - коэффициент продольного сопротивления подводного перехода

$$K_n = \frac{C_n}{L} ;$$

K_2 - коэффициент переходного сопротивления подводного перехода :

$$K_2 = \frac{z_n}{z_2} ,$$

K_R - коэффициент неоднородности изоляционного покрытия

$$K_R = \frac{R_{12}}{R_n}$$

2.3. При оценке влияния подводного перехода на параметры катодной защиты магистрального трубопровода необходимо учитывать следующие показатели:

K_J - коэффициент расхода тока;

$$K_J = \frac{U_q}{U_{q0}} = \frac{Z_{Z_3}}{Z_{Z_3} + Z_{12}} = \frac{2\sqrt{q}[K_n(K_z - 1) + 1]}{\sqrt{q}[K_n(K_z - 1) + 1] + 1}$$

K_3 - коэффициент неравномерности защитных потенциалов;

$$K_3 = \frac{U_q}{U_M}$$

K'_α - коэффициент затухания тока;

$$K'_\alpha = \frac{L}{X} = \frac{\alpha_{12}}{\alpha_3} = \frac{1}{K_n(\sqrt{K_z} K_R - 1) + 1}$$

2.4. Оценку влияния подводного перехода на параметры катодной защиты магистрального трубопровода следует проводить на основании определения изменения длины защитной зоны установки катодной защиты ΔK_L и изменения расхода защитного тока ΔK_J .

2.5. Изменение длины защитной зоны установки катодной защиты у подводного перехода можно определить по формуле

$$\Delta K_L = \Delta K_\alpha + \Delta K_U,$$

где ΔK_α - изменение длины защитной зоны в результате влияния эквивалентного коэффициента распространения тока, %;

ΔK_U - изменение длины защитной зоны в результате влияния наложенного потенциала в точке дренажа, %.

2.6. изменение длины защитной зоны установки катодной защиты в результате влияния эквивалентного коэффициента распространения тока можно определять по формуле

$$\Delta K_{\alpha} = \frac{50 K_{\pi} (1 - \sqrt{K_2 K_R})}{K_{\pi} (\sqrt{K_2 K_R} - 1) + i}$$

2.7. Изменение длины защитной зоны установки катодной защиты в результате влияния наложенного потенциала в точке дренажа можно определять по формуле

$$\Delta K_u = \left\{ \frac{\ell_u K_3}{\ell_{\pi} \frac{K_3}{K_7}} - \frac{\ell_{\pi} \sqrt{K_3}}{\left\{ 1 + \left[K_{\pi} (K_2 K_R - 1) \right]^{-1} \right\} \ell_{\pi} \frac{K_3}{K_7}} \right\} \cdot 100$$

2.8. Изменение расхода защитного тока (в процентах) установки катодной защиты у подводного перехода можно определять по формуле

$$\Delta K_3 = \left(K_7^{\frac{2}{1+K_{\alpha}^2}} - K_3^{\frac{1-K_{\alpha}^2}{1+K_{\alpha}^2}} \right) \cdot 100$$

2.9. В диапазонах изменения:

$$K_{\pi} = 0,01 \div 1,0;$$

$$K_2 = 0,5 \div 3,0;$$

$$K_R = 0,5 \div 10,0;$$

$$K_3 = 2 \div 10,0;$$

$$n = 1 \div 3.$$

Величины ΔK_{α} , ΔK_u , ΔK_7 и ΔK_3 можно определять по номограммам на рис. 3-33, где n - число ниток троспровода на подводном переходе; ΔK_7 - показатель изменения расхода тока

$$\Delta K_7 = 1 - K_7$$

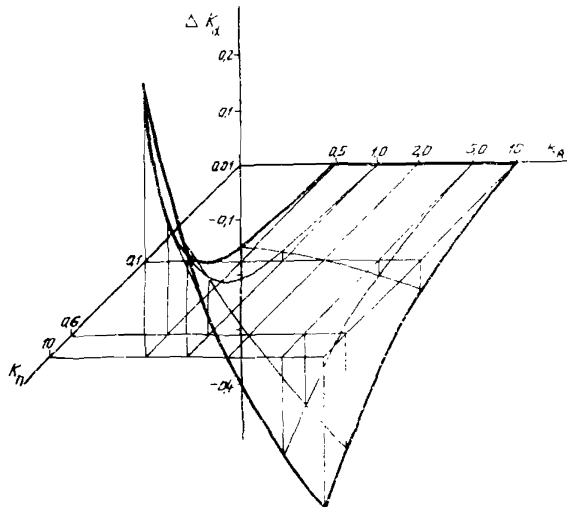


Рис.3. Номограмма для определения коэффициента ΔK_x при $K_z = 0,5$

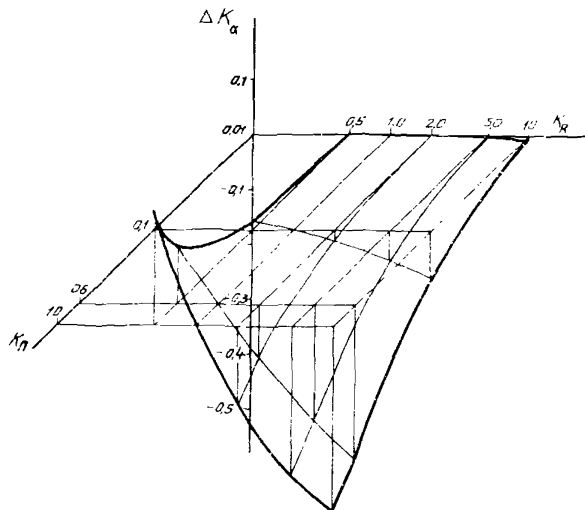


Рис.4. Номограмма для определения коэффициента ΔK_x при $K_z = 1$

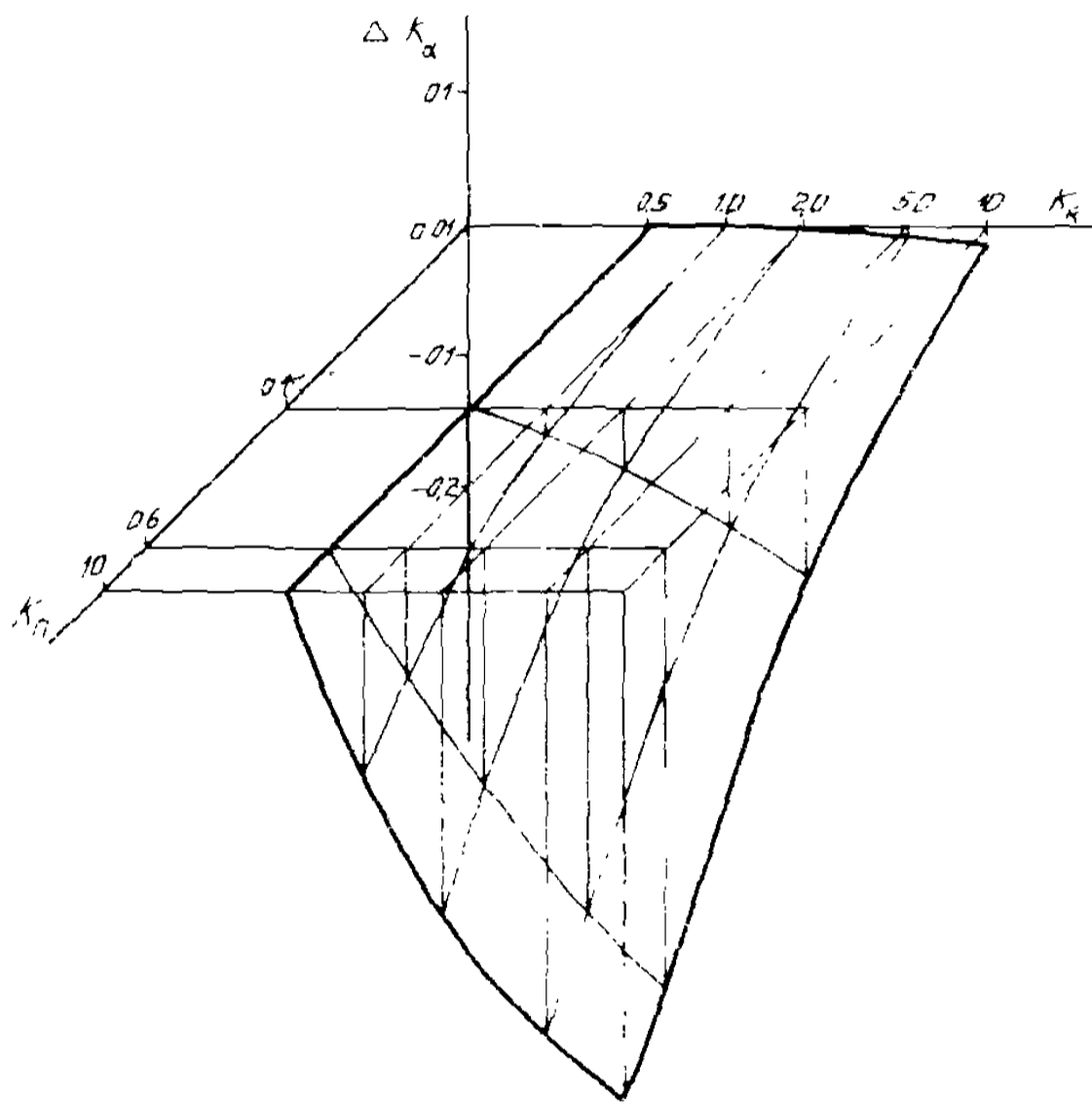


Рис. 5. Номограмма для определения коэффициента ΔK_α при $K_\beta = 1$

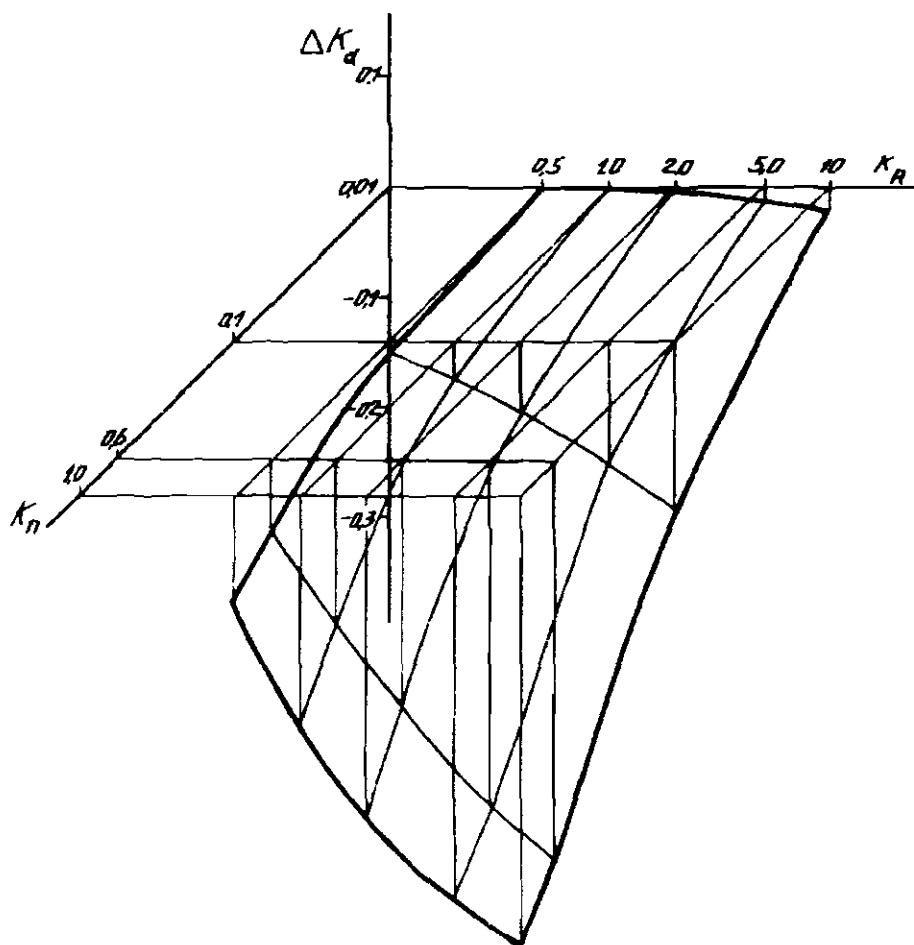


Рис.6. Номограмма для определения коэф., зависящего от ΔK_α при $K_2 = 3$

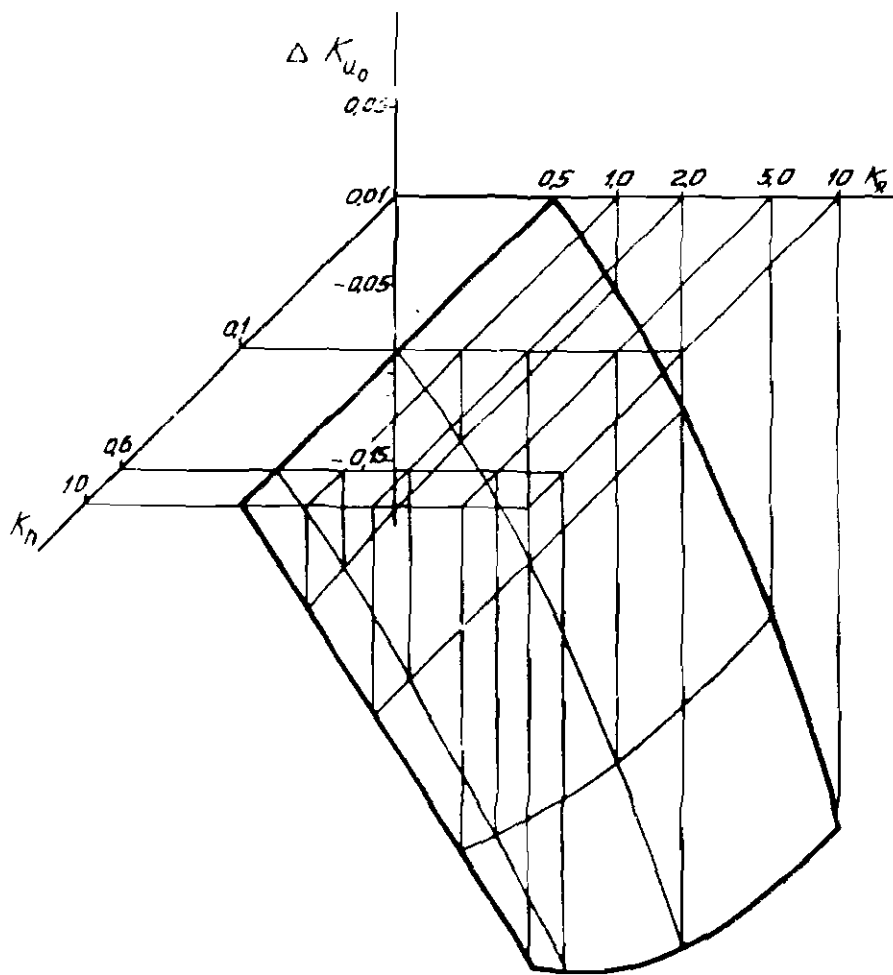


Рис.7. Номограмма для определения коэффициента ΔK_{u_0} при $K_2 = 0, >$ и $n = 1$

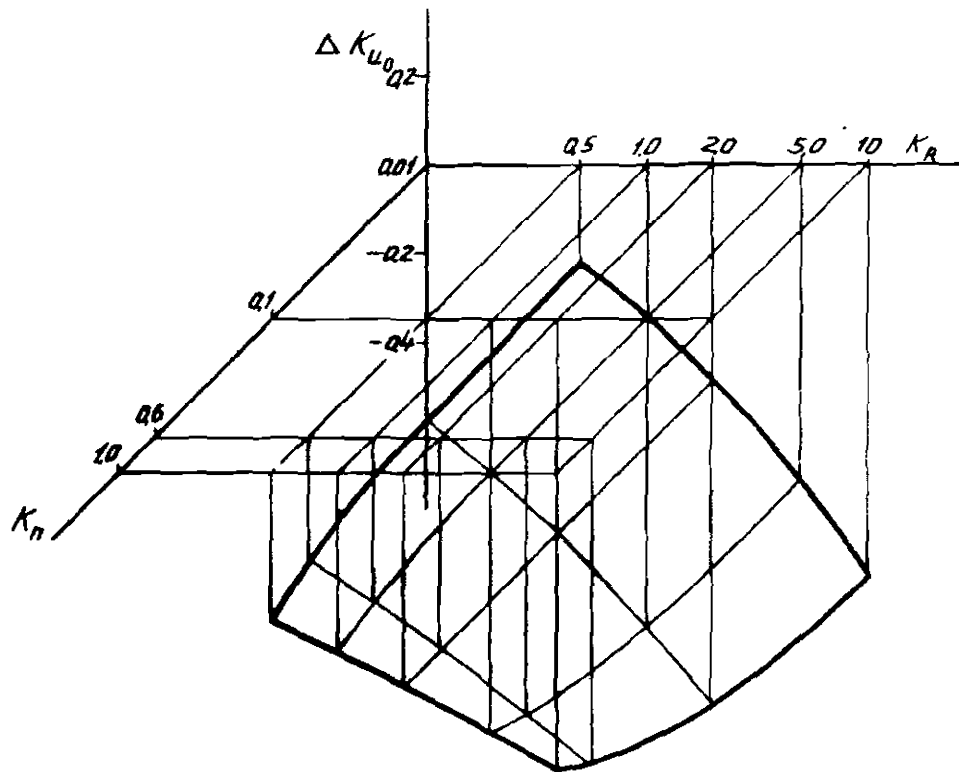


Рис. 8. Номограмма для определения коэффициента ΔK_{u_0} при $K_z = 0,5$ и $n = 2$

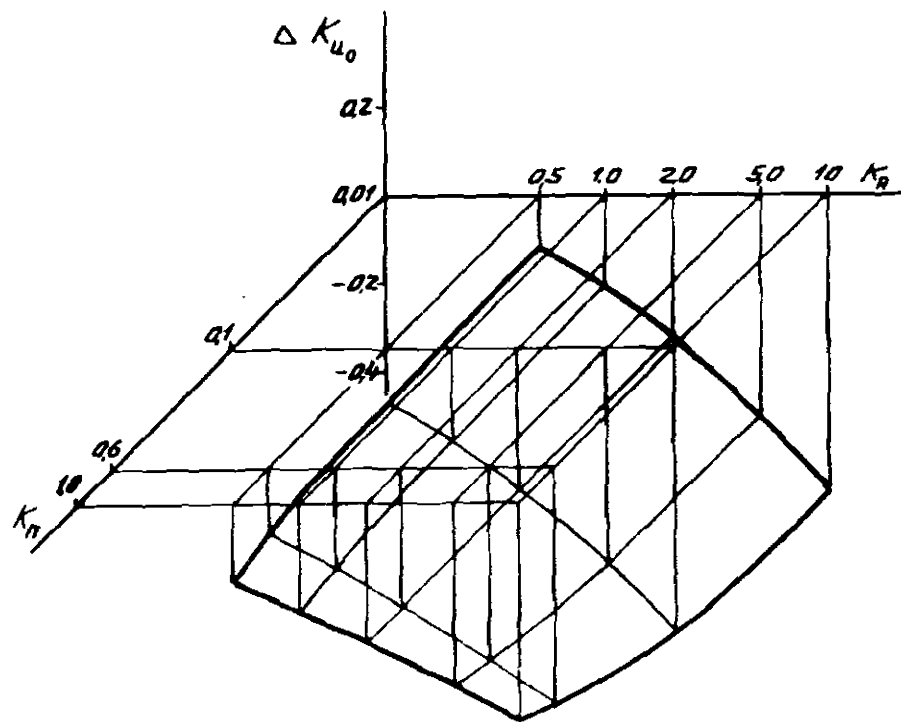


Рис. 9. Номограмма для определения коэффициента ΔK_{u_0} при $K_z = 0,5$ и $n = 2$

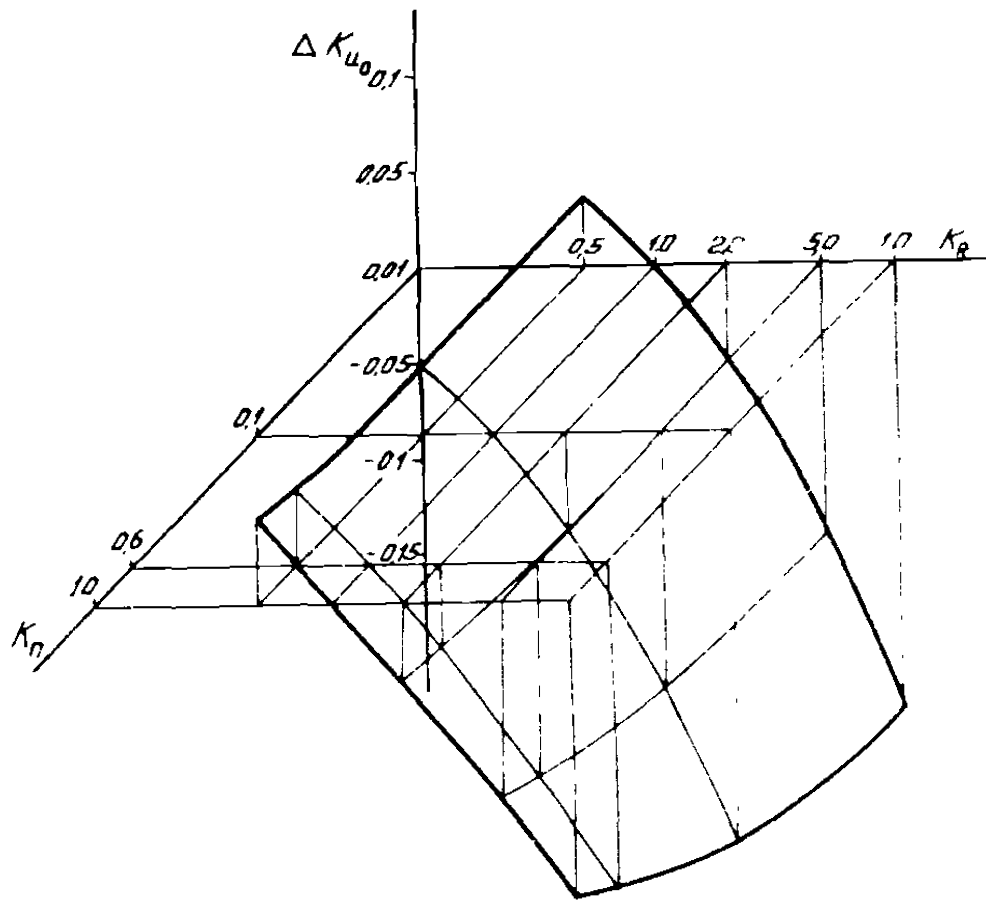


Рис.10. Номограмма для определения коэффициента $\Delta K_{u0,1}$ при $K_z = 1,0$ и $n = 1$

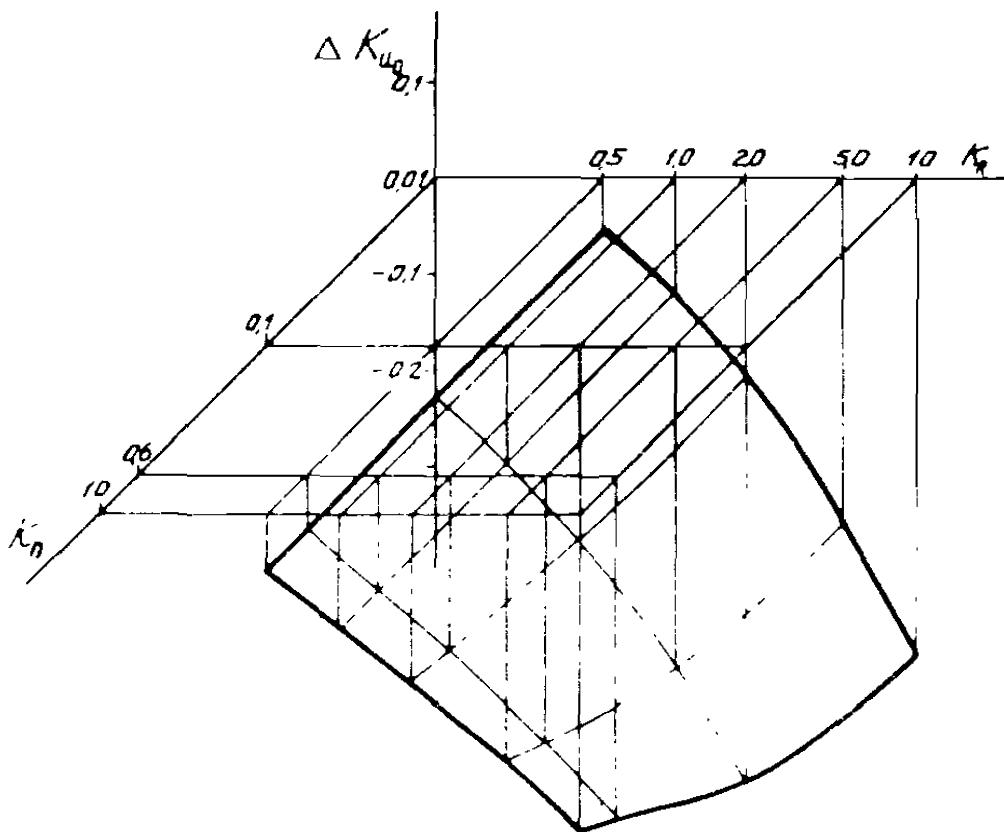


Рис.11. Номограмма для определения коэффициента $\Delta K_{u0,1}$ при $K_z = 1$ и $n = 2$

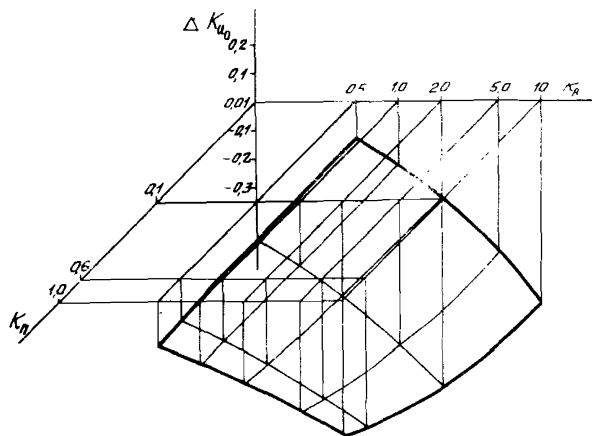


Рис.12. Номограмма для определения коэффициента ΔK_{u0} при $K_2 = 1$ и $l_2 = 3$

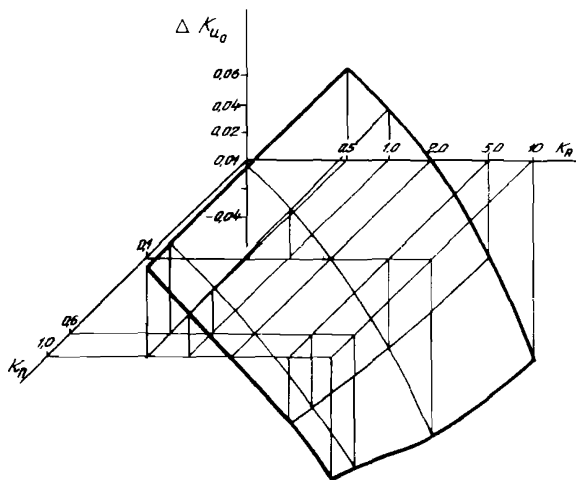


Рис.13. Номограмма для определения коэффициента ΔK_{u0} при $K_2 = 2$ и $l_2 = 1$

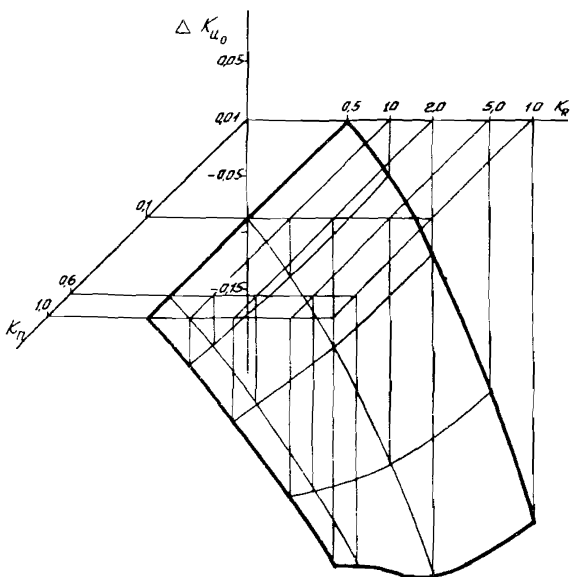


Рис.14. Номограмма для определения коэффициента ΔK_{u_0} при $K_\gamma = 2$ и $n = 2$

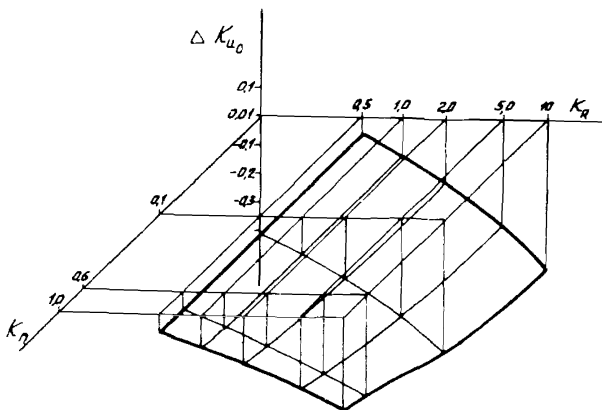


Рис.15. Номограмма для определения коэффициента ΔK_{u_0} при $K_\gamma = 2$ и $n = 3$

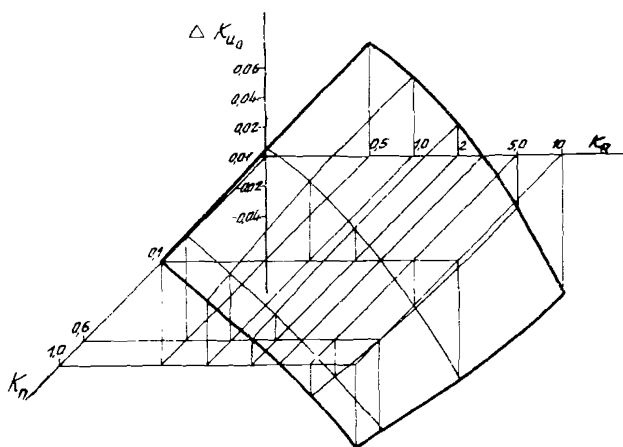


Рис.16. Номограмма для определения коэффициента ΔK_{u_0}
при $k_2 = 3$ и $n = 1$

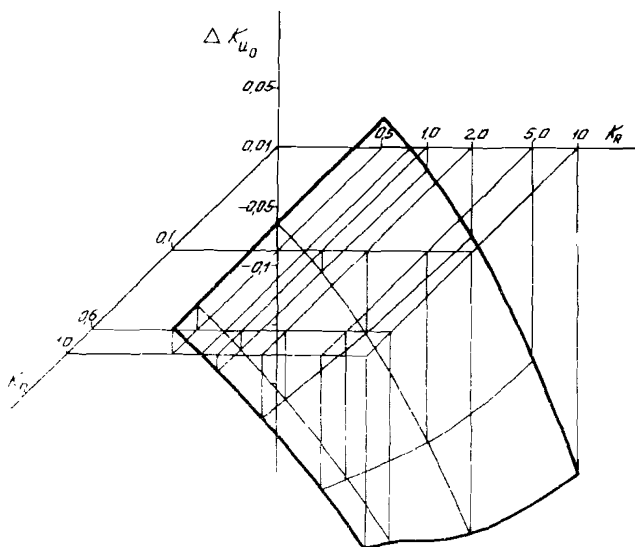


Рис.17. Номограмма для определения коэффициента ΔK_{u_0}
при $k_2 = 3$ и $n = 2$

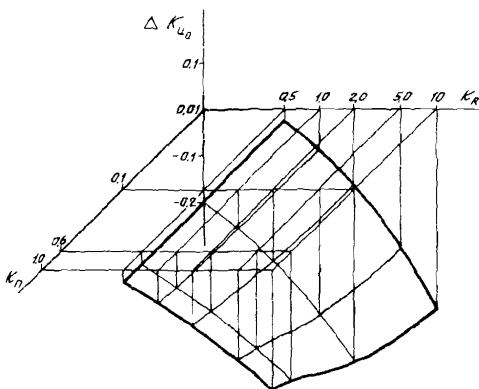


Рис.18. Номограмма для определения коэффициента ΔK_{u0} при $K_\gamma = 3$ и $n = 3$

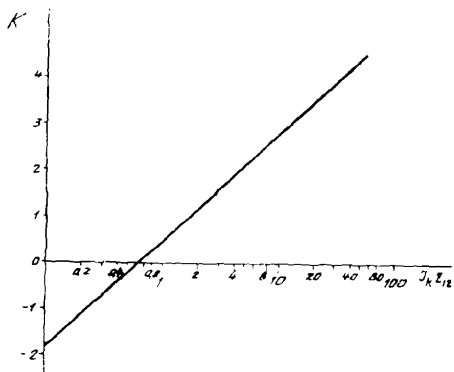
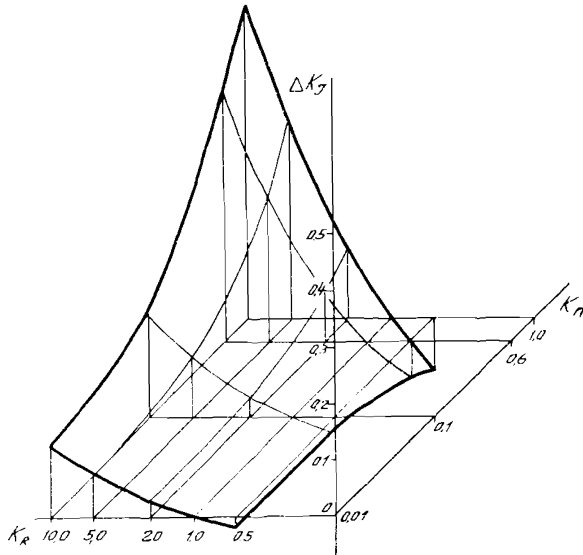
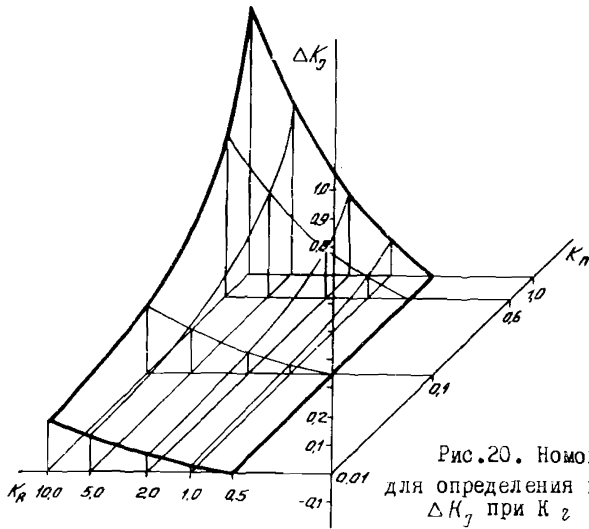


Рис.19. Определение расчетного коэффициента K по величине $J_{kz_{12}}$



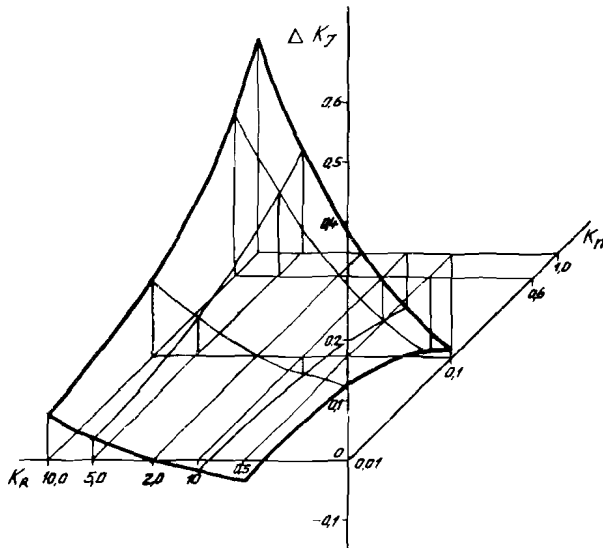


Рис.22. Номограмма для определения коэффициента ΔK_7 при $K_2 = 2$

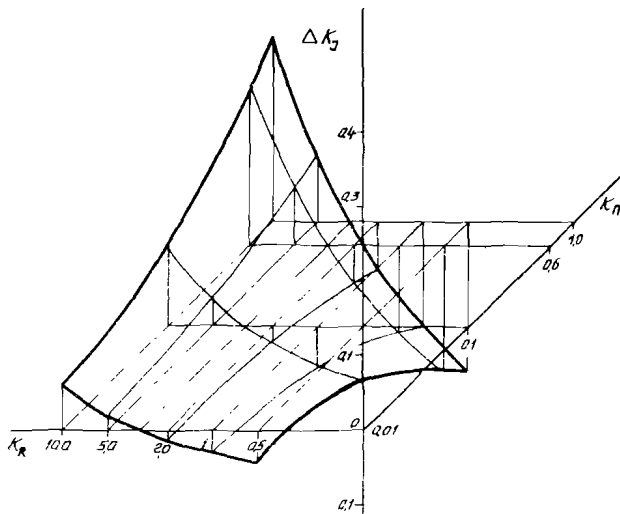


Рис.23. Номограмма для определения коэффициента ΔK_7 при $K_2 = 3$

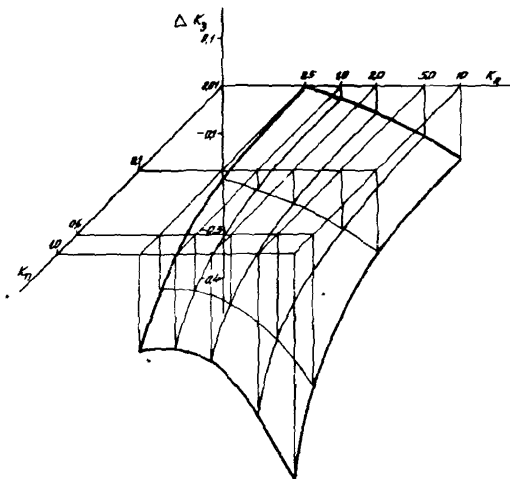


Рис.24. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3 при $K_3 = 2$ и $K_2 = 0,5$

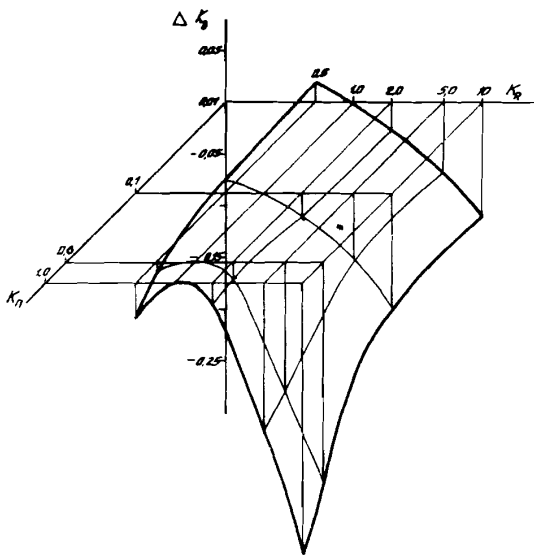


Рис.25. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3
 при $K_3 = 2$ и $K_2 = 1$

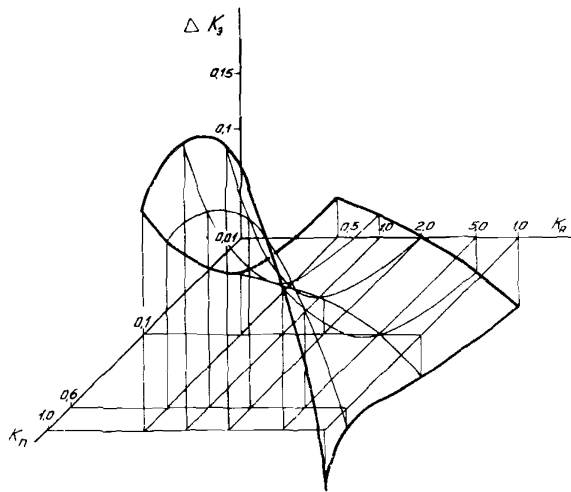


Рис.26. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3 при $K_3 = 2$ и $K_2 = 2$

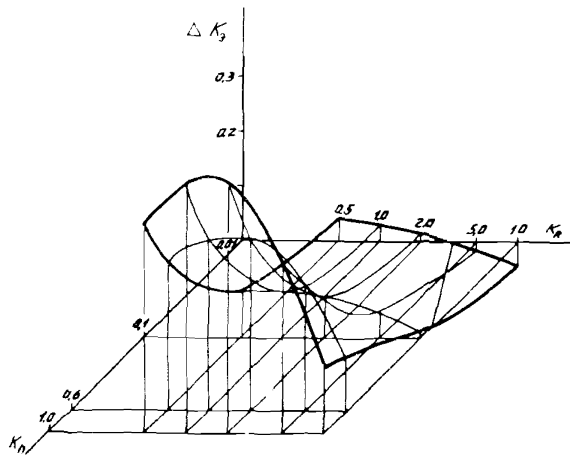


Рис.27. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3 при $K_3 = 2$ и $K_2 = 3$

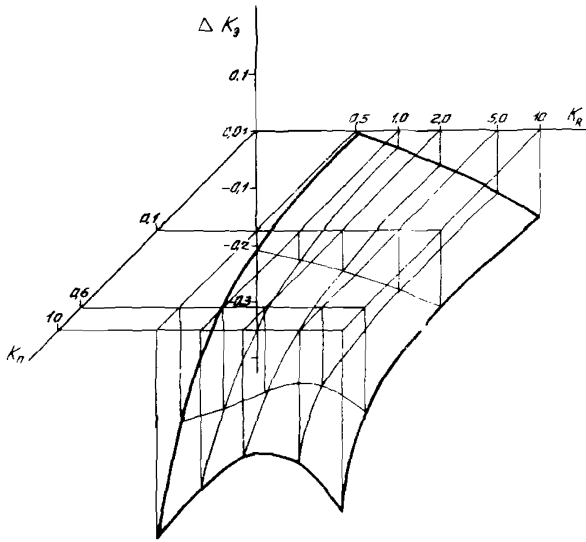


Рис.28. Номограмма для определения коэффициента ΔK_2
при $K_3 = 4$ и $K_2 = 0,5$

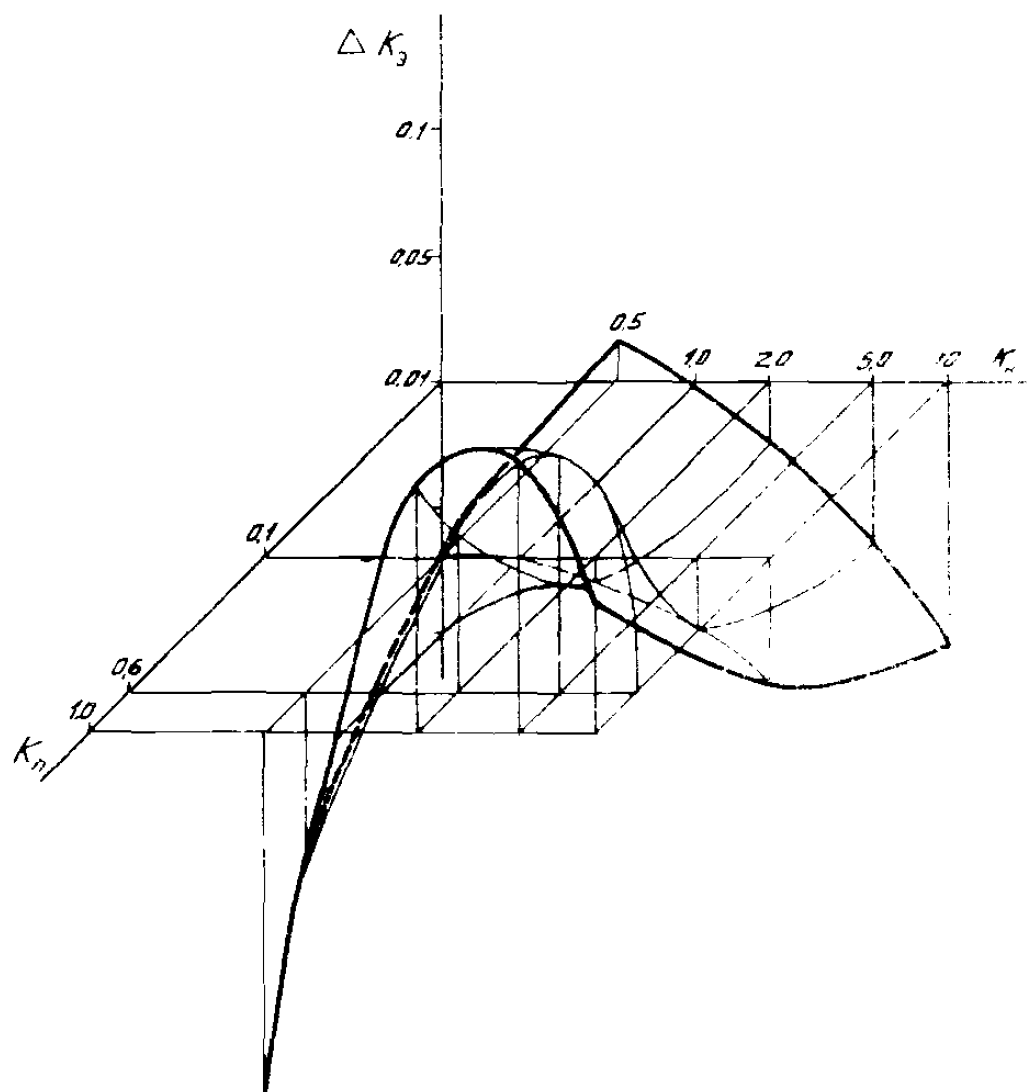


Рис. 29. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3
при $K_3 = 4$ и $K_2 = 1$

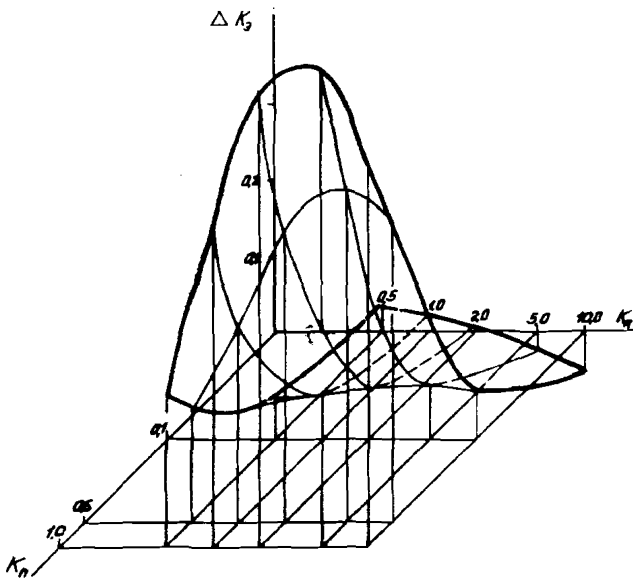


Рис.30. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3
при $K_3 = 4$ и $K_2 = 2$

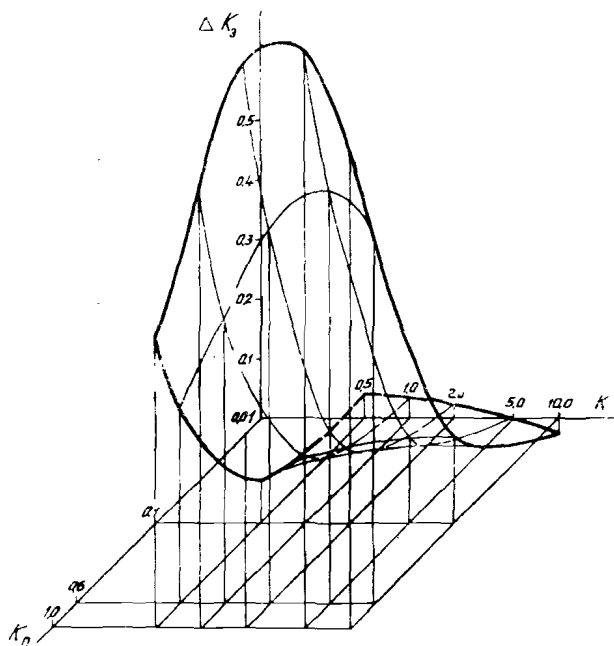


Рис.31. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3 при $K_3 = 4$ и $K_2 = 3$

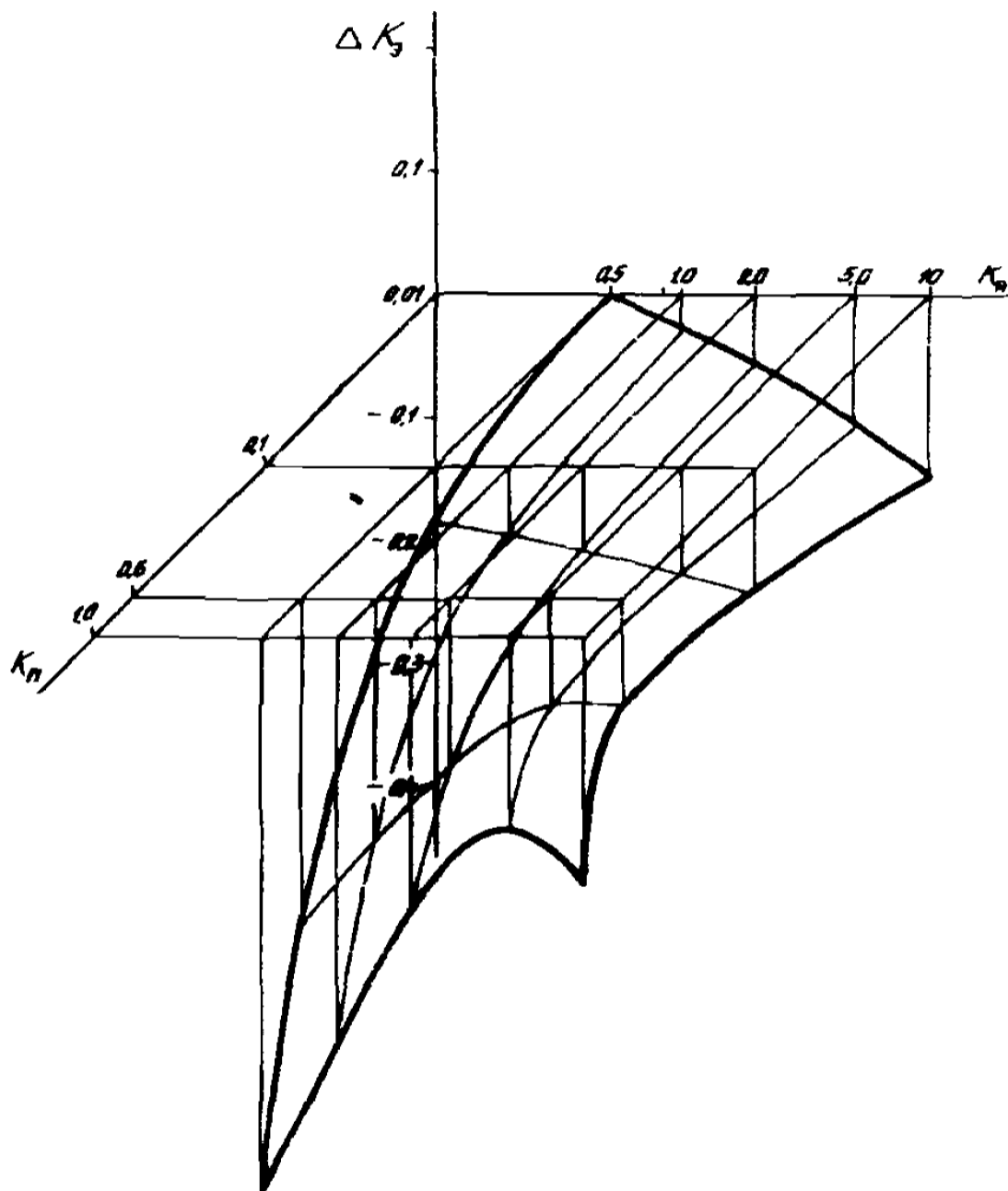


рис. 12. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3
 при $K_3 = 6$ и $K_2 = 0,5$

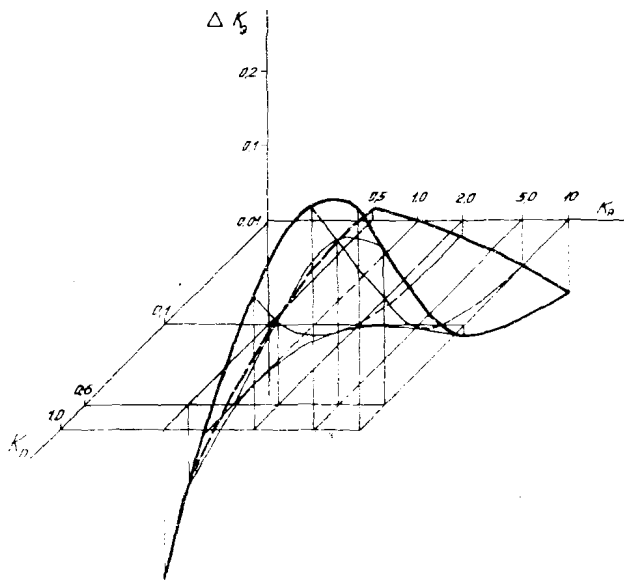


Рис.33. Номограмма для определения коэффициента ΔK_2 ,
при $K_3 = 6$ и $K_2 = 1$

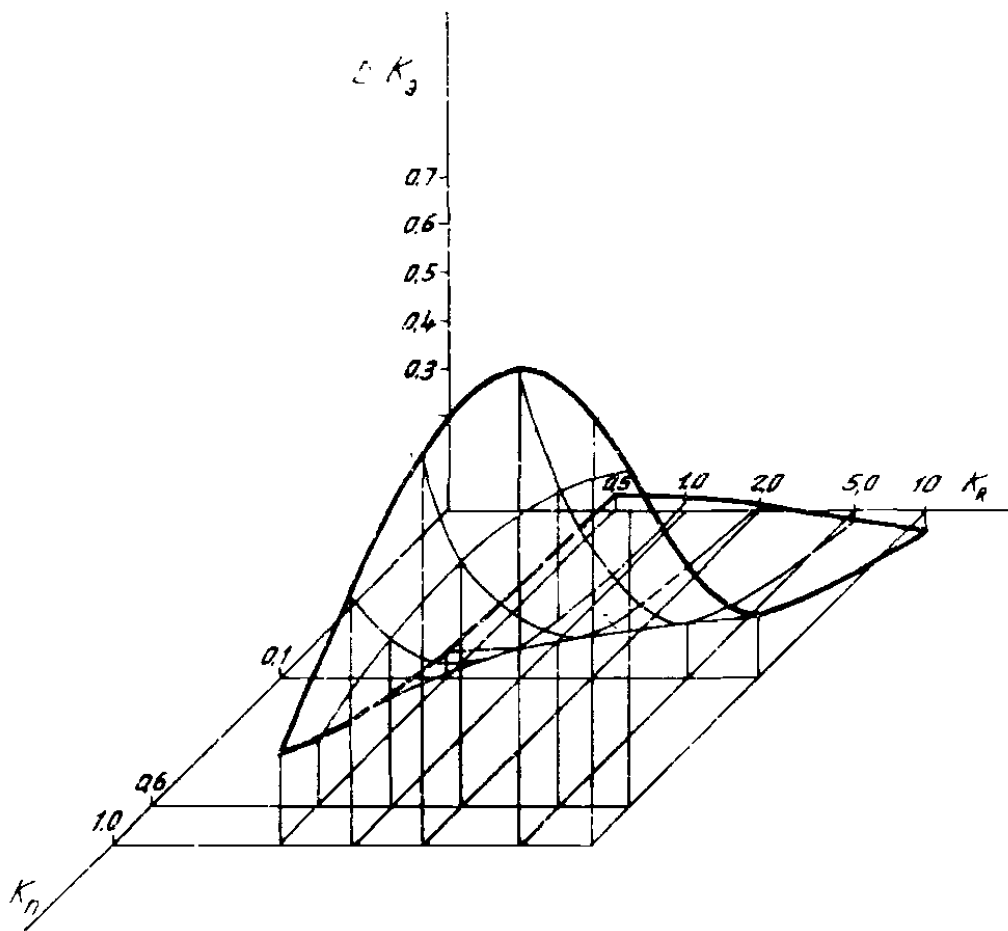


рис. 24. Номограмма для определения коэффициента ΔK_2
при $K_3 = 6$ и $K_2 = 2$

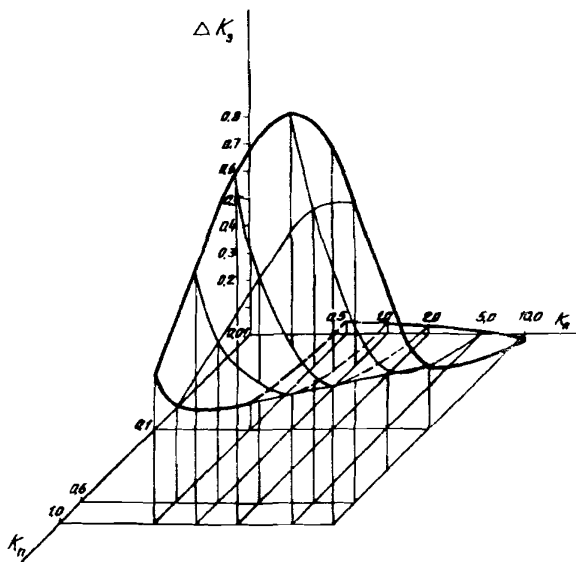


Рис. 35. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3 при $K_2 = 6$ и $K_3 = 3$

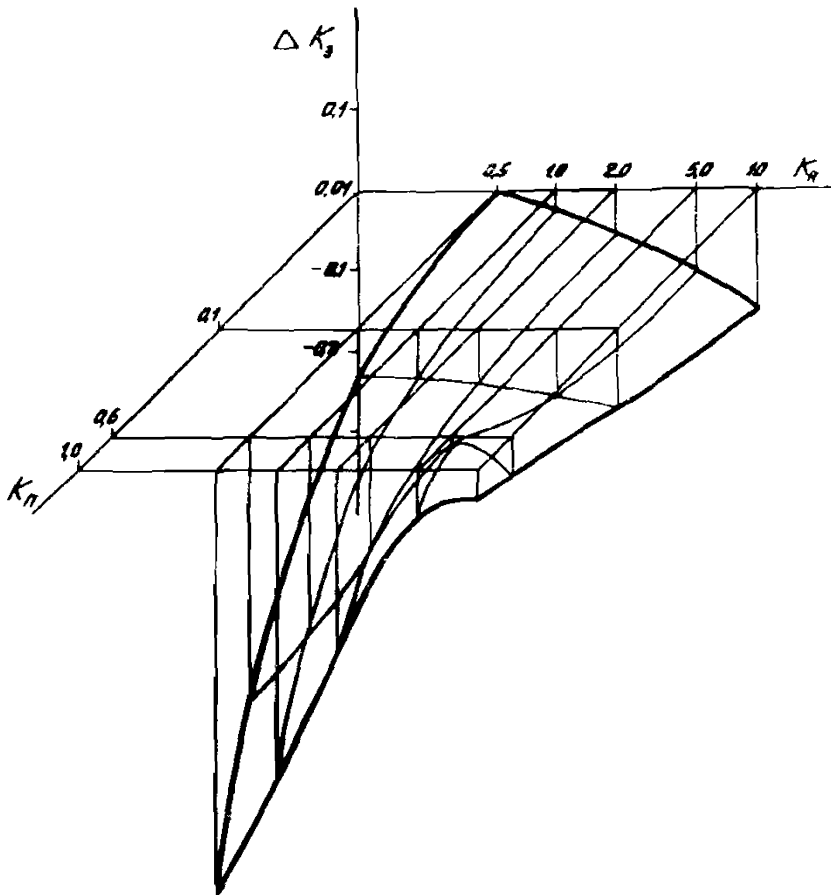


Рис. 36. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3 при $K_3 = 10$ и $K_2 = 0,5$

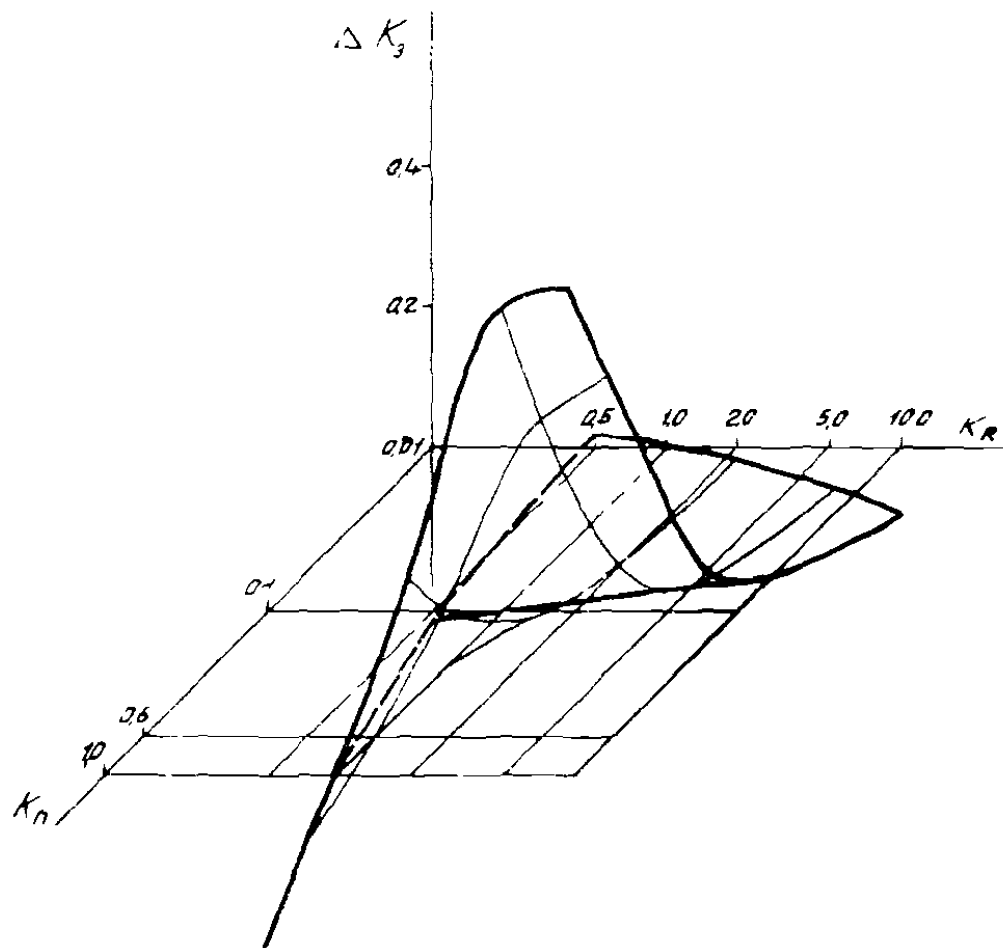


Рис.37. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3
 при $K_3 = 10$ и $K_2 = 1$

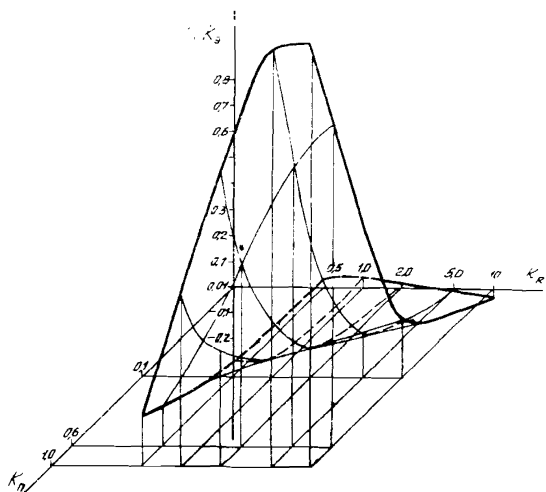


Рис.38. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3 при $K_3 = 10$ и $K_2 = 2$

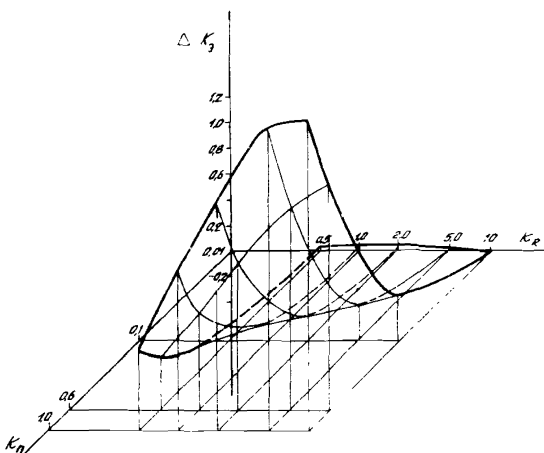


Рис.39. Номограмма для определения коэффициента ΔK_3 при $K_3 = 10$ и $K_2 = 5$

3.10. Изменение длины защитной зоны установки катодной защиты в результате влияния наложенного потенциала в точке дренажа по данным номограмм следует определять по формуле

$$\Delta K_{\text{ц}} = \frac{\Delta K_{\text{ц0}}}{K},$$

где $\Delta K_{\text{ц}}$ - приведенное значение изменения длины защитной зоны, %;

K - расчетный коэффициент для определения действительного значения коэффициента $\Delta K_{\text{ц}}$;

$$K = \rho_{\text{п}} 1,66 J_{\text{к}} Z_{12}.$$

3. РАСЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ

3.1. Расчет дополнительной протекторной защиты следует проводить по общепринятым для каждого типа протекторов методикам.

3.2. При использовании спиральных протекторов выбор шага спирали a и угла навивки спирали по отношению к вертикальной оси поперечного сечения трубы β следует выбирать, исходя из требуемой величины защитного тока протектора и необходимой для этого величины сопротивления растеканию протектора $R_{\text{р}}$.

3.3. Сопротивление растеканию спирального протектора можно определять по формуле

$$R_{\text{р}} = R_{\text{к}} + R_{\text{д}} \epsilon^{\beta a},$$

где $R_{\text{к}}$ - предельное значение сопротивления растеканию спирального протектора при бесконечном увеличении шага спирали, Ом;

$$R_{\text{к}} = \frac{0,73 \rho}{L_{\text{п}}} \rho_{\text{г}} \frac{L_{\text{п}}}{V a^2 h},$$

$L_{\text{п}}$ - длина стержня спирального протектора, м;

d - диаметр стержня спирального протектора, м;

h - глубина заложения оси спирали, м;
 ρ - удельное сопротивление воды, Ом·м;
 R_0 - приведенное сопротивление растеканию единичного витка спирального протектора, Ом:

$$R_0 = \frac{2\rho}{\pi \sqrt{D_c}};$$

D_c - диаметр спирали протектора, м;
 γ - приведенный коэффициент распространения тока в спиральном протекторе, м⁻¹;

$$\gamma = \frac{4,6 \lg \frac{L_n}{d}}{\sqrt{D_c}}$$

3.4. Рабочую длину спирального протектора L_p можно определять по формуле

$$L_p = \frac{a L_n}{\sqrt{\pi^2 D_c^2 + a^2}}.$$

3.5. Угол навивки спирали протектора можно определять по формуле

$$\beta = \arccos \frac{\sqrt{L_n^2 - L_p^2}}{L_n}.$$

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

4.1. К работам по обследованию состояния электрохимической защиты на подводных переходах допускаются только лица, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности в управлениях эксплуатации газонефтепроводов.

4.2. Электрометрические работы при обследовании необходимо производить только с разрешения руководства управления эксплуатации, при обязательном соблюдении всех требований техники безопасности, приведенных при инструктаже.

4.3. Электрические измерения на водоемах следует выполнять с моторных или весельных лодок группой не менее чем из трех человек, обязанности которых распределяются следующим образом: один обеспечивает подвижность лодки и следит за ситуацией на водоеме, второй проводит измерения, третий осуществляет страховку.

4.4. На всех людях, находящихся в лодке, должны быть спасательные жилеты или спасательные пояса. При скорости течения более 4 км/ч измерения следует проводить только с моторной лодки.

4.5. При необходимости прикосновения к токоведущим частям катодную станцию установки электрохимической защиты предварительно следует отключить от сети. Во время грозы проводить электрометрические работы не разрешается.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	3
2. Расчет влияния подводного перехода на параметры катодной защиты	5
3. Расчет дополнительной протекторной защиты	36
4. Техника безопасности	37

РУКОВОДСТВО

по электрохимической защите
магистральных трубопроводов
на подводных переходах

Р 283-77

Издание ВНИИСТА

Редактор Г.К.Храпова

Корректор А.А.Хорошова

Технический редактор Т.В.Берешева

Л-78788 Подписано в печать 28.11.1977 Формат 60x84/16

Печ.л. 3,25 Уч.-изд.л. 2,7 Усл.печ.л. 3,0

Тираж 750 экз. Цена 27 коп. Заказ 99

Ротапринт ВНИИСТА