

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

ВЕЕСОЮЗНЫЙ  
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.Л. 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).

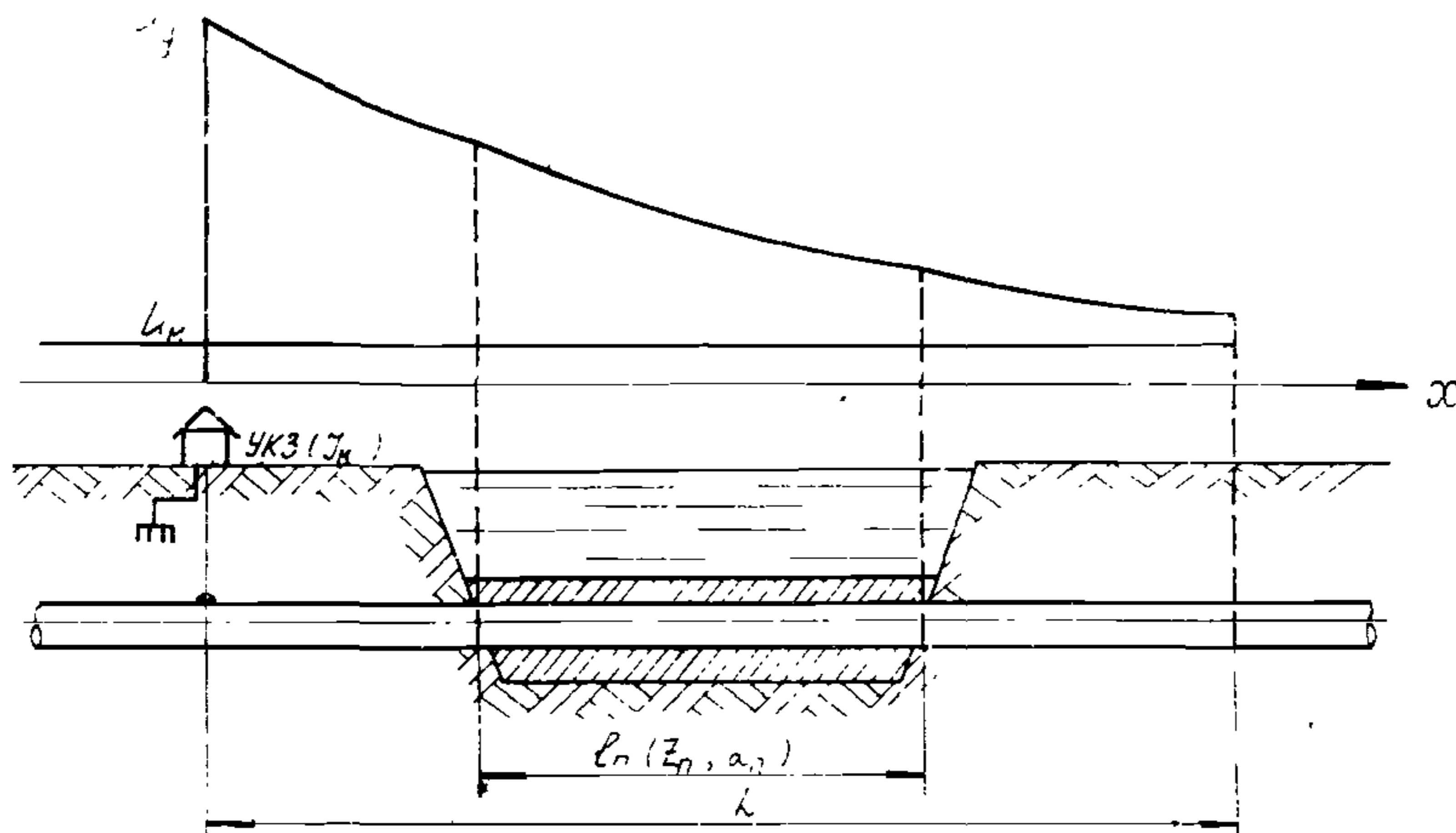


Рис. 1. Возможное изменение наложенных потенциалов вдоль плеча зоны защиты трубопровода с подводным переходом

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

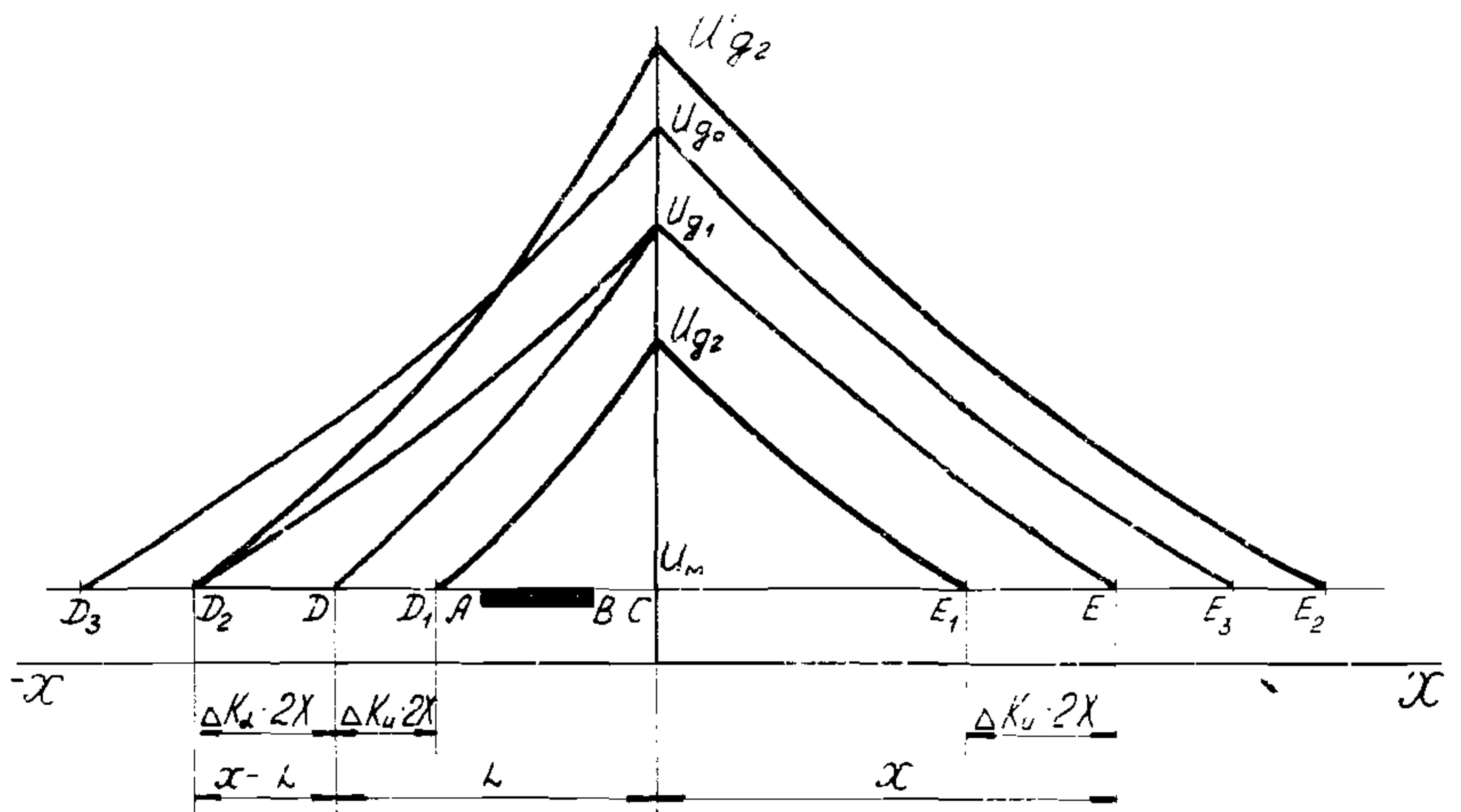


Рис.2. Возможное влияние параметров  $\alpha_n$  и  $Z_n$  подводного перехода на изменение длины зоны защиты установки катодной защиты (УКЗ):

$AB$  - 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  $\alpha_n$ ;  $D_1D$ ,  $E_1E$  - 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;  $U_{g2}$  - потенциал в точке дренажа УКЗ на участке с подводным переходом при защитном токе  $J=J_K$ ;  $U_{g1}$  - потенциал в точке дренажа при отсутствии подводного перехода для  $J=J_K$ ;  $U'_{g2}$  - 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 дополнигельных 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;

$\chi$  - длина плеча защитной зоны без подводного перехода, км;

$R_{12}$  - среднее переходное сопротивление трубопровода на подземных участках, Ом·м;

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

$U_{x_i}$  - 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 ;

$$Z_3 = \frac{4Z_{12} Z_n}{3Z_n + Z_{12}} ;$$

$z_n$  - входное сопротивление подводного перехода, Ом ;

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

$\alpha_{12}$  - коэффициент распространения тока вдоль подземных участков трубопровода, 1/м ;

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

$\alpha_3$  - эквивалентный коэффициент распространения тока вдоль плеча защитной зоны с подводным переходом, 1/м ;

$$\alpha_3 = \frac{z_3}{R_3} = \frac{K_{11} (\alpha_{12} \sqrt{R_{12}} - \sqrt{z_{12}}) + \sqrt{z_{12}}}{\sqrt{R_{12}}} ;$$

$\alpha_n$  - 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

$$q = \frac{4\sqrt{K_2}}{\sqrt{K_1} [K_{11} (3K_2 - 1) + 1] - \sqrt{K_2} [K_{11} (3 - K_2) - 3]} ;$$

$K_{11}$  - коэффициент продольного сопротивления подводного перехода

$$K_{11} = \frac{L_n}{L} ;$$

$K_2$  - 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;

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

$K_3$  - коэффициент неравномерности защитных потенциалов;

$$K_3 = \frac{U_q}{U_m} ;$$

$K'_\alpha$  - 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  $\Delta K_L$  и изменения расхода защитного тока  $\Delta K_J$ .

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  $\Delta K_\alpha$  - изменение длины защитной зоны в результате влияния эквивалентного коэффициента распространения тока, %;

$\Delta K_u$  - 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 дре-нажа можно определять по формуле

$$\Delta K_{\alpha} = \left\{ \frac{\rho_{\Pi} K_3}{\rho_{\Pi} \frac{K_3}{K_7}} - \frac{\rho_{\Pi} \sqrt{K_3}}{\left\{ 1 + \left[ K_{\Pi} (K_2 K_R - 1) \right]^{-1} \right\} \rho_{\Pi} \frac{K_3}{K_7}} \right\} \cdot 100.$$

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

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

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  $\Delta K_{\alpha}$ ,  $\Delta K_{\alpha}$ ,  $\Delta K_3$  и  $\Delta K_3$  можно определять по номограммам на рис. 3-39, где  $n$  - число ниток тросопровода на подводном переходе;  $\Delta K_3$  - показатель изменения расхода тока

$$\Delta K_3 = 1 - K_3$$

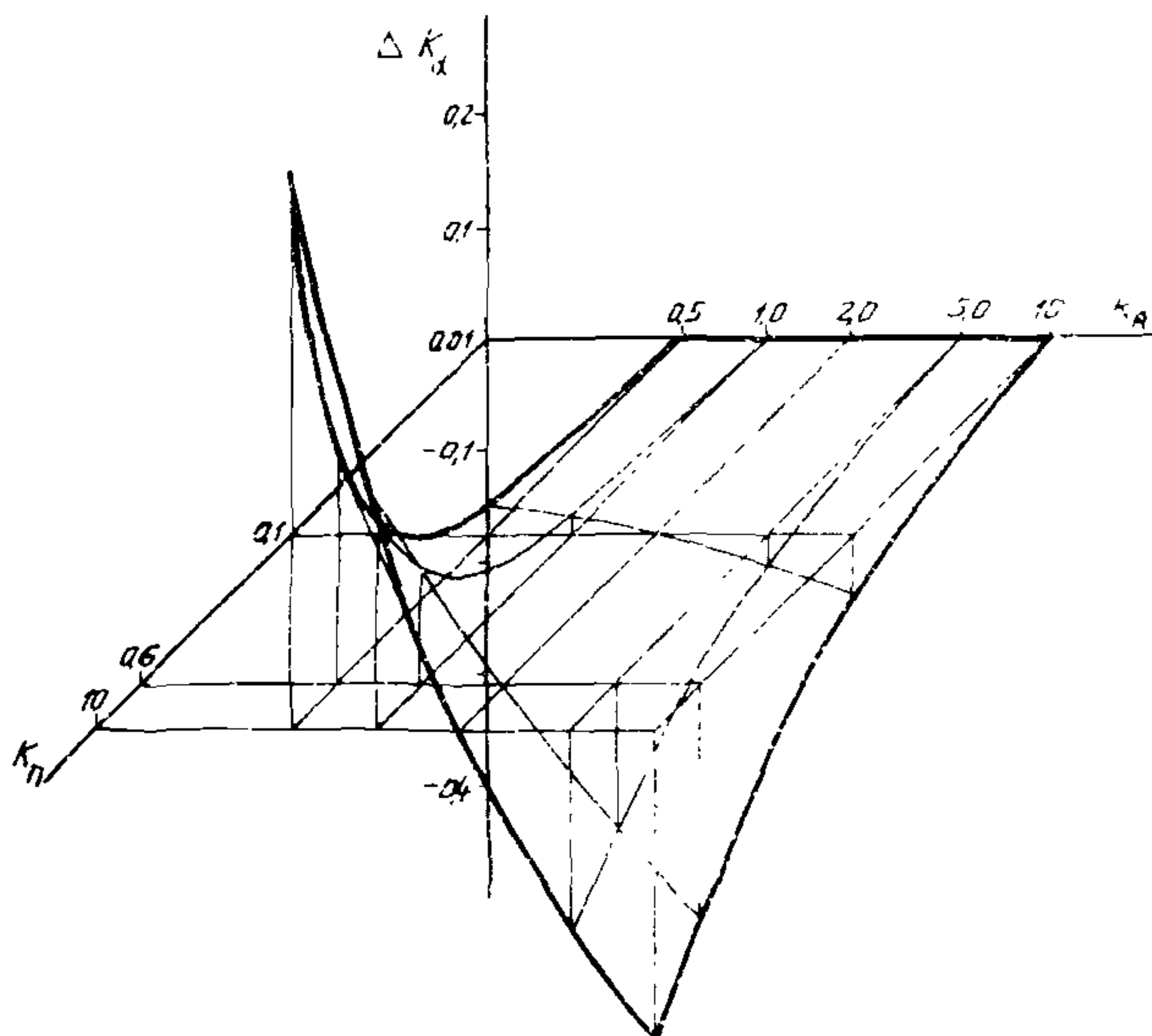


Рис.3. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{\alpha}$  при  $K_z = 0,5$

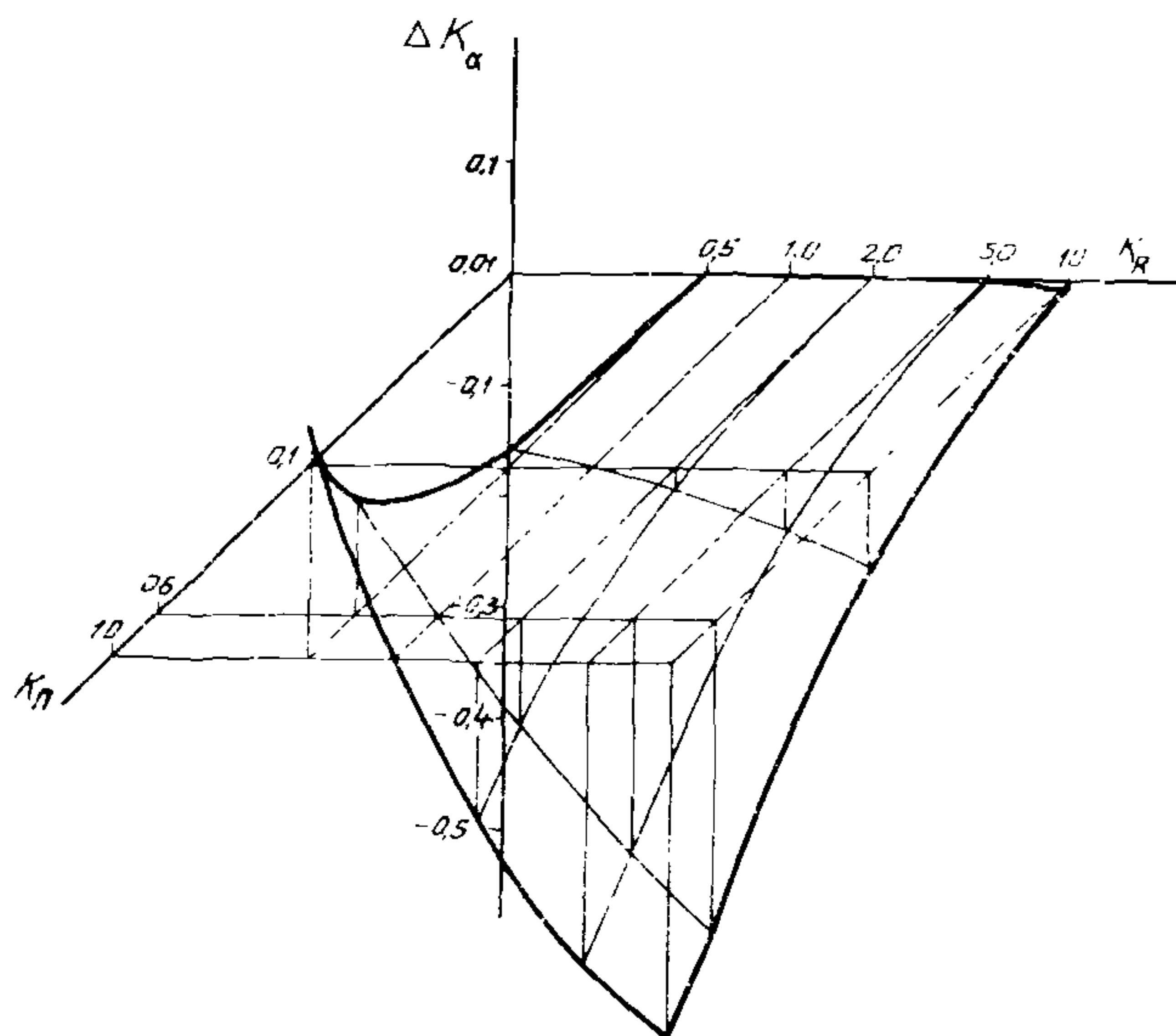


Рис.4. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{\alpha}$  при  $K_z = 1$

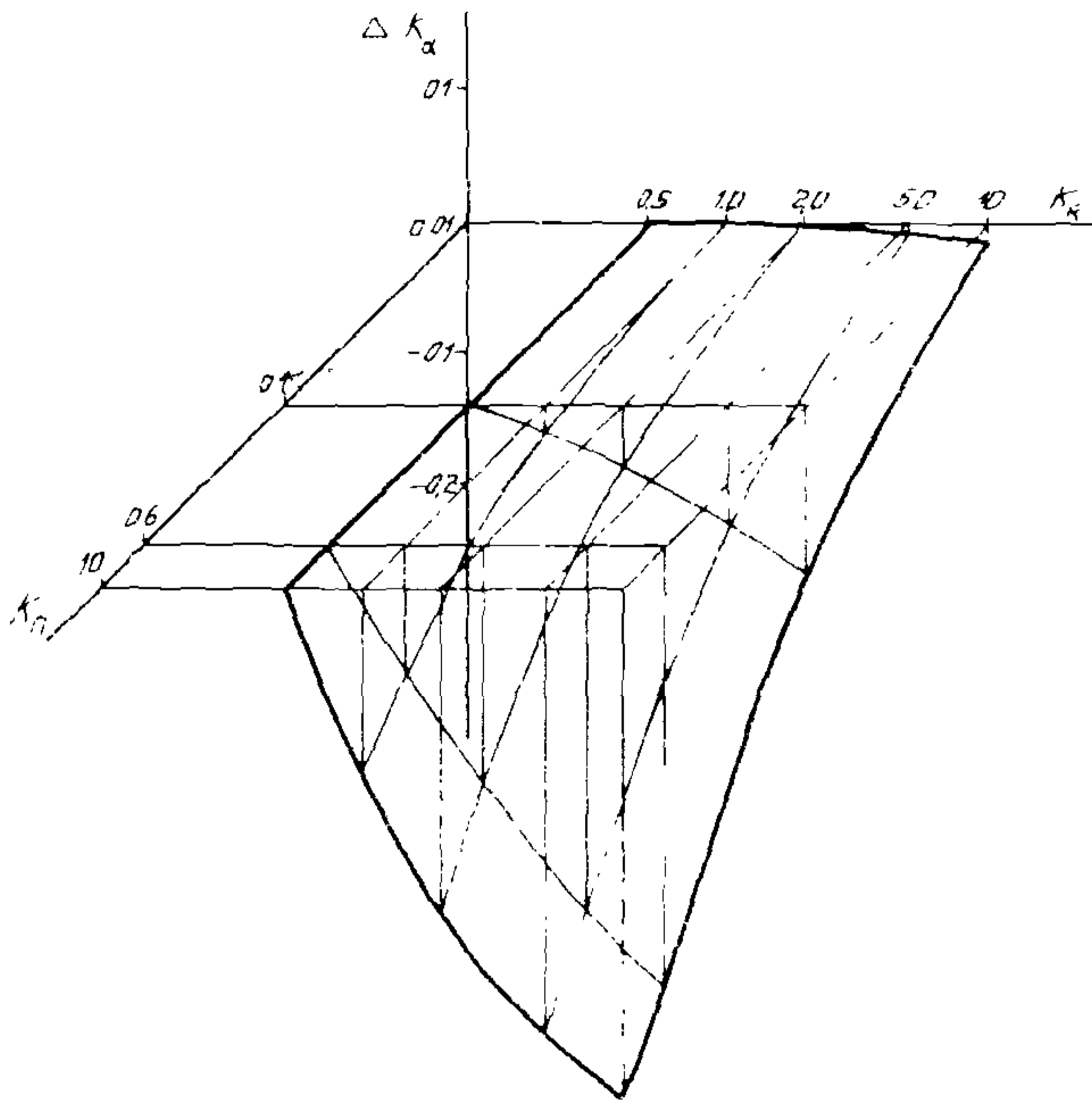


Рис. 5. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_\alpha$  при  $K_\beta = 1$

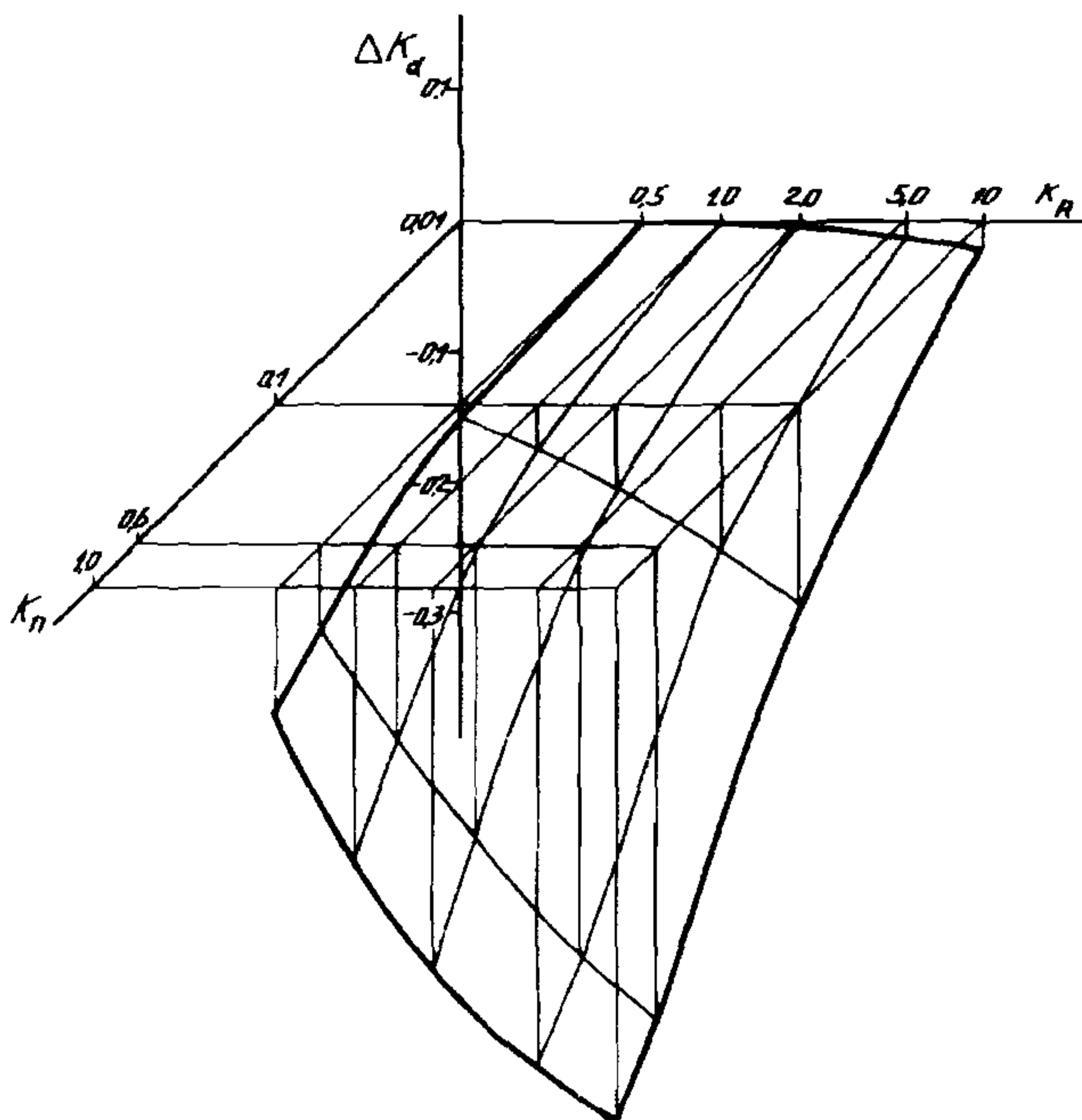


Рис.6. Номограмма для определения коэф.  $\Delta K_\alpha$  при  $K_2 = 3$

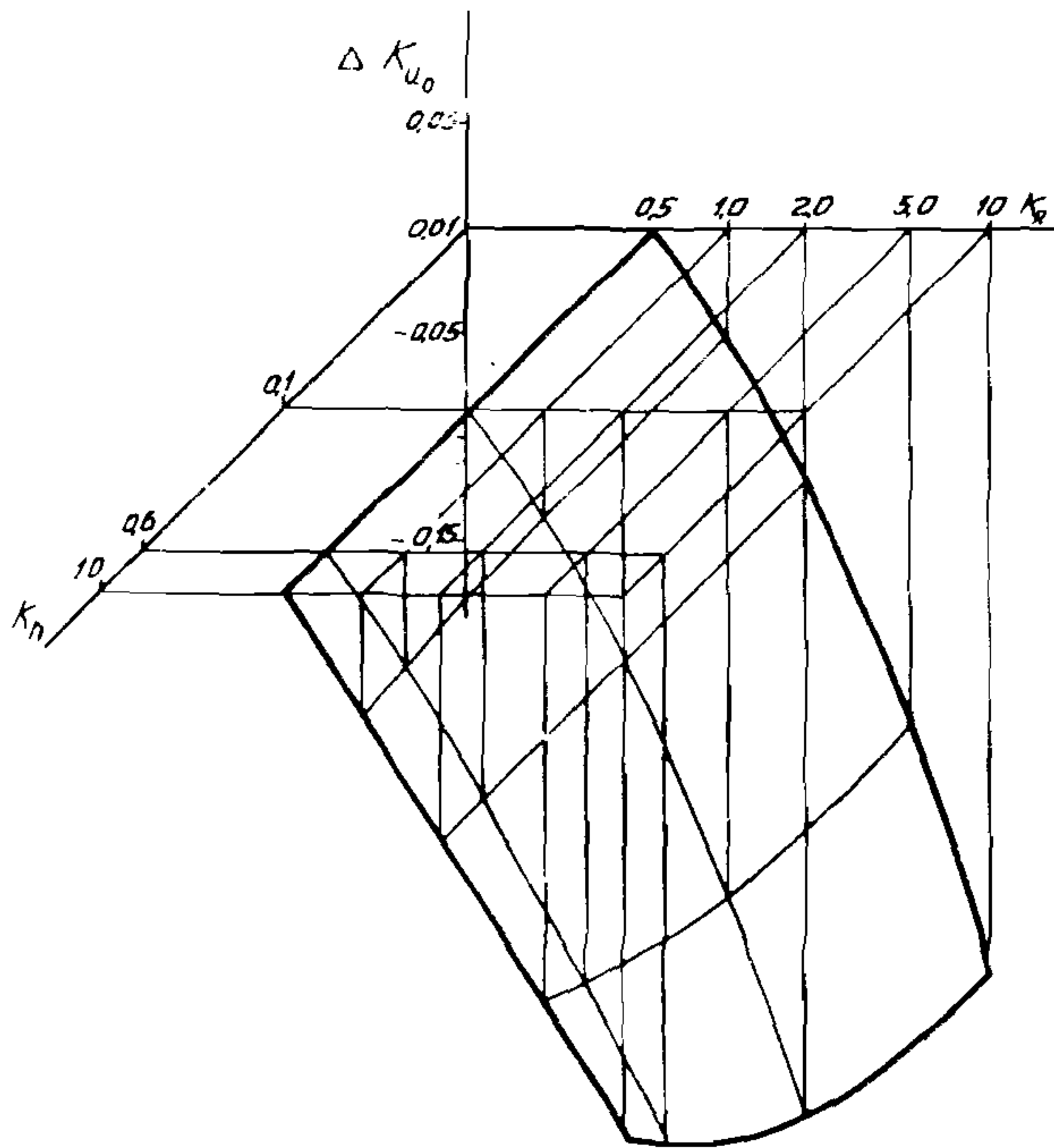


Рис. 7. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u0}$  при  $K_z = 0,7$  и  $n = 1$

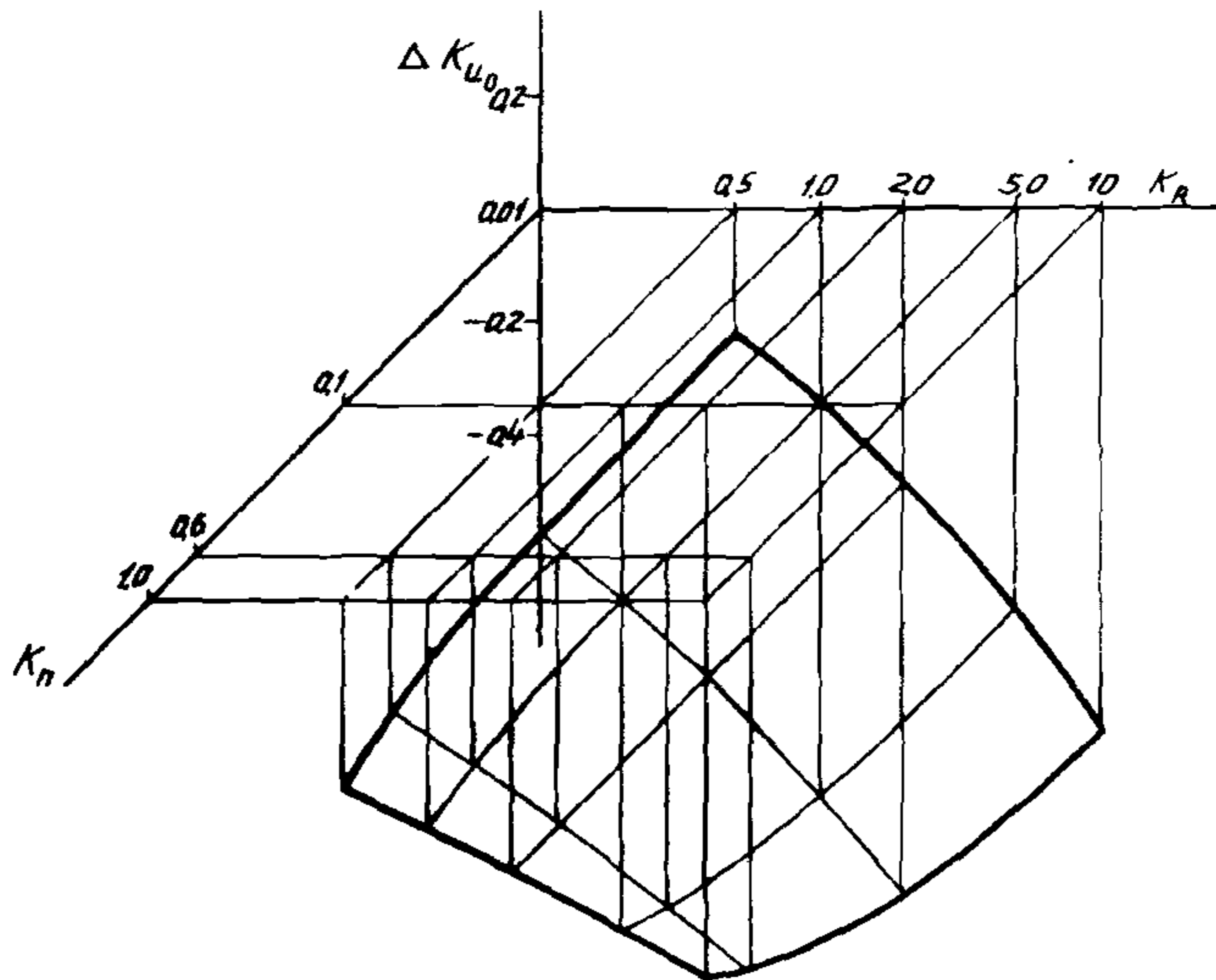


Рис. 8. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u_0}$  при  $K_z = 0,5$  и  $n = 2$

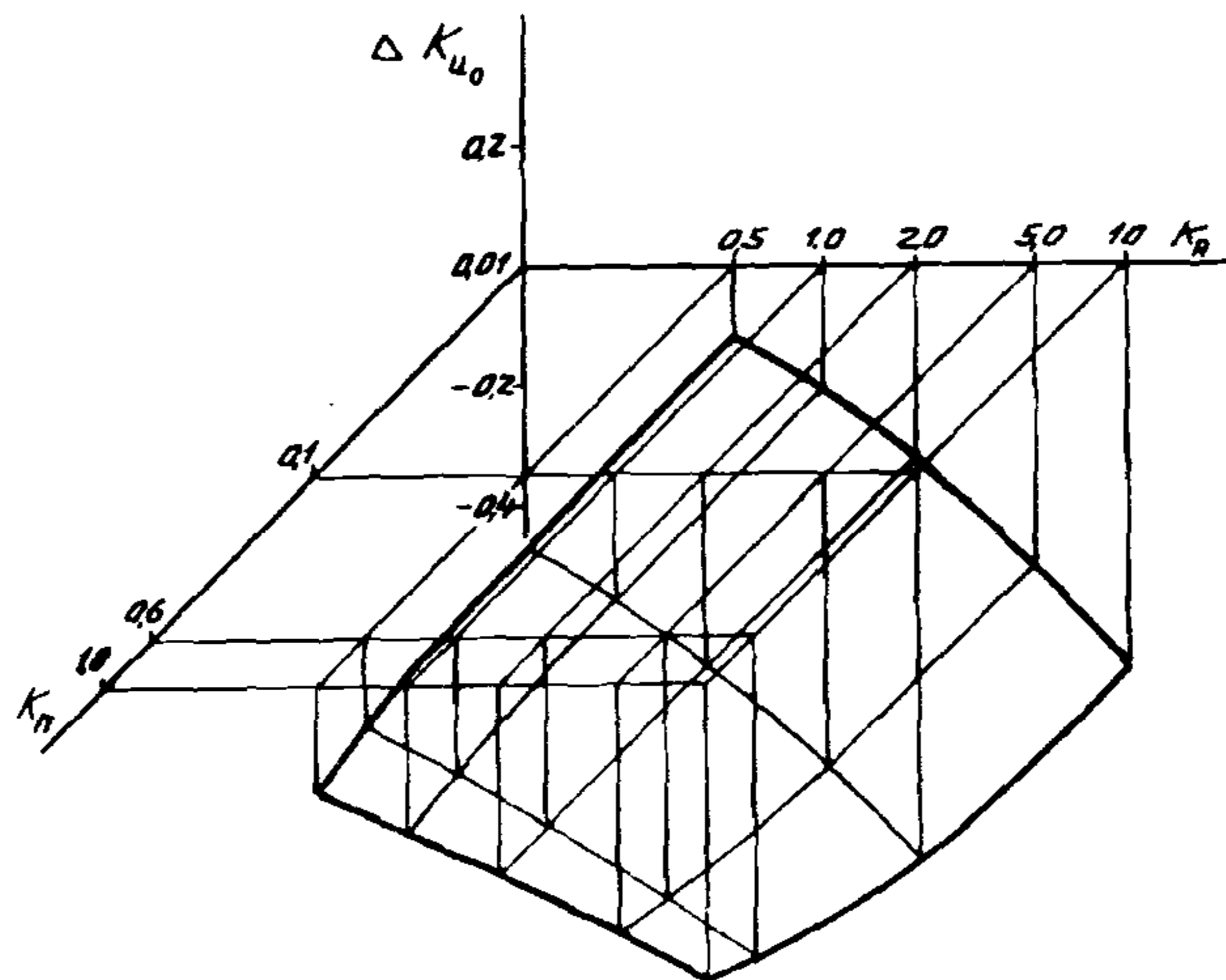


Рис. 9. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u_0}$  при  $K_z = 0,5$  и  $n = 2$

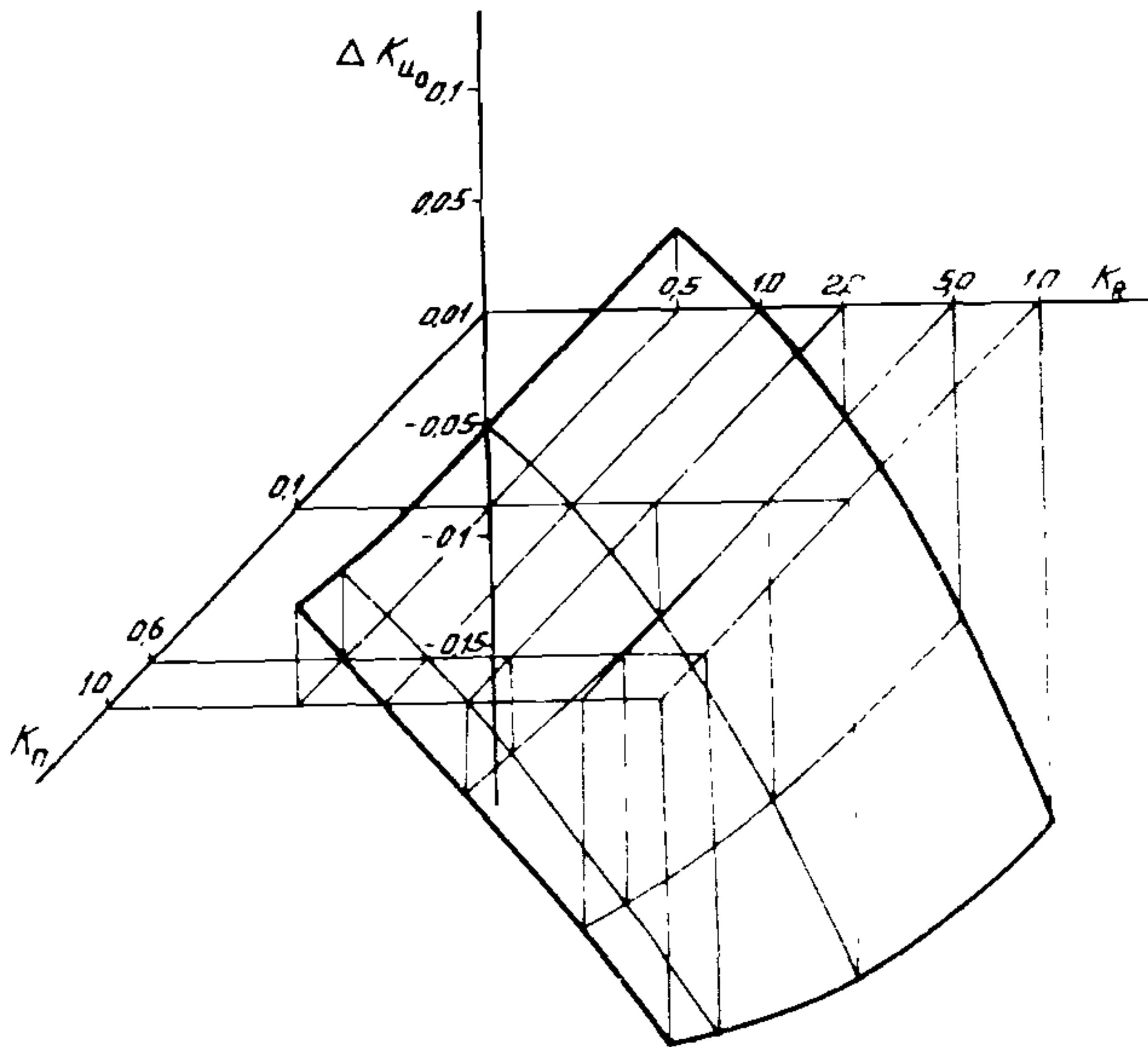


Рис.10. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u0,1}$  при  $K_2 = 1,0$  и  $n = 1$

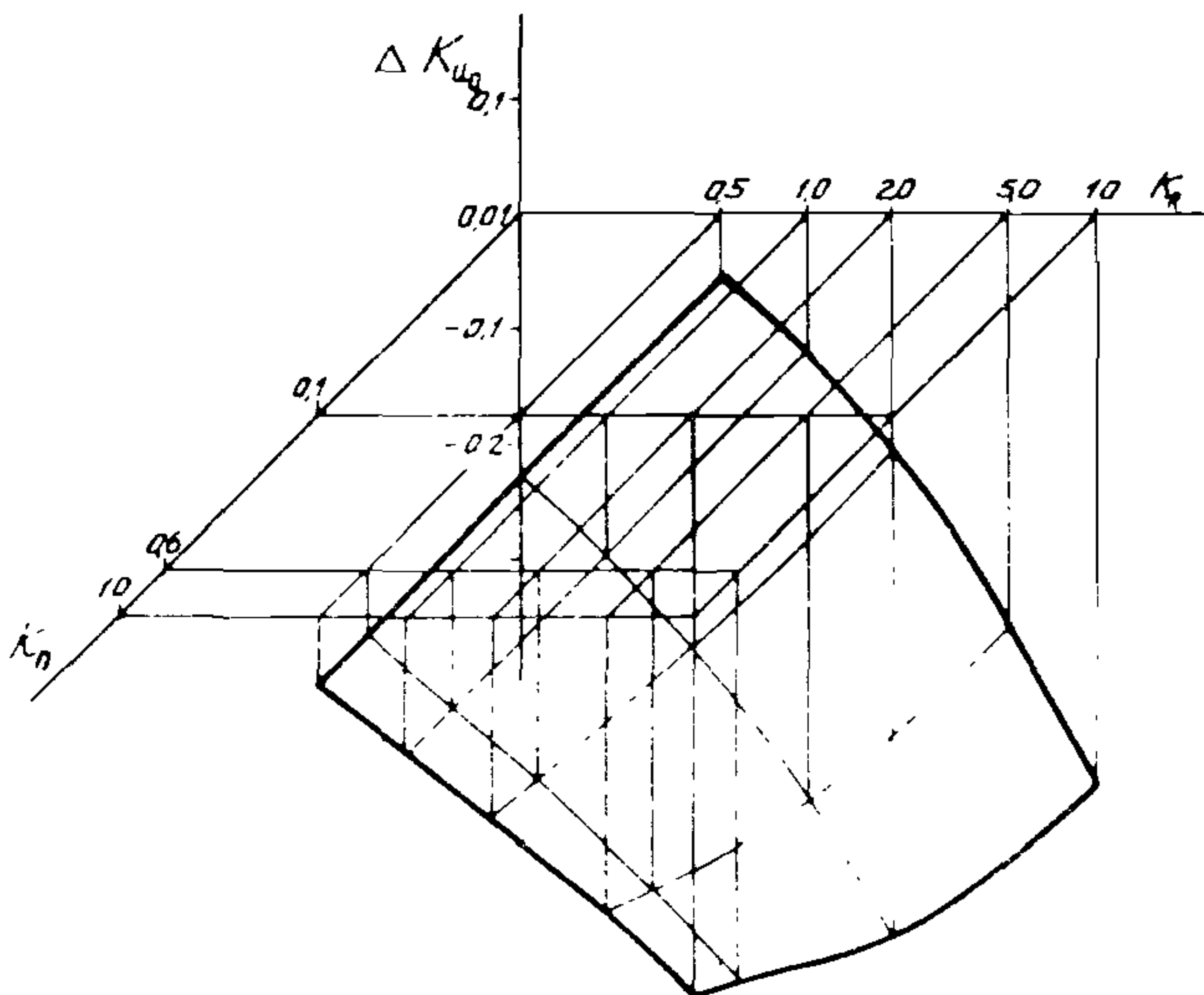


Рис.11. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u0,1}$  при  $K_1 = 1$  и  $n = 1$



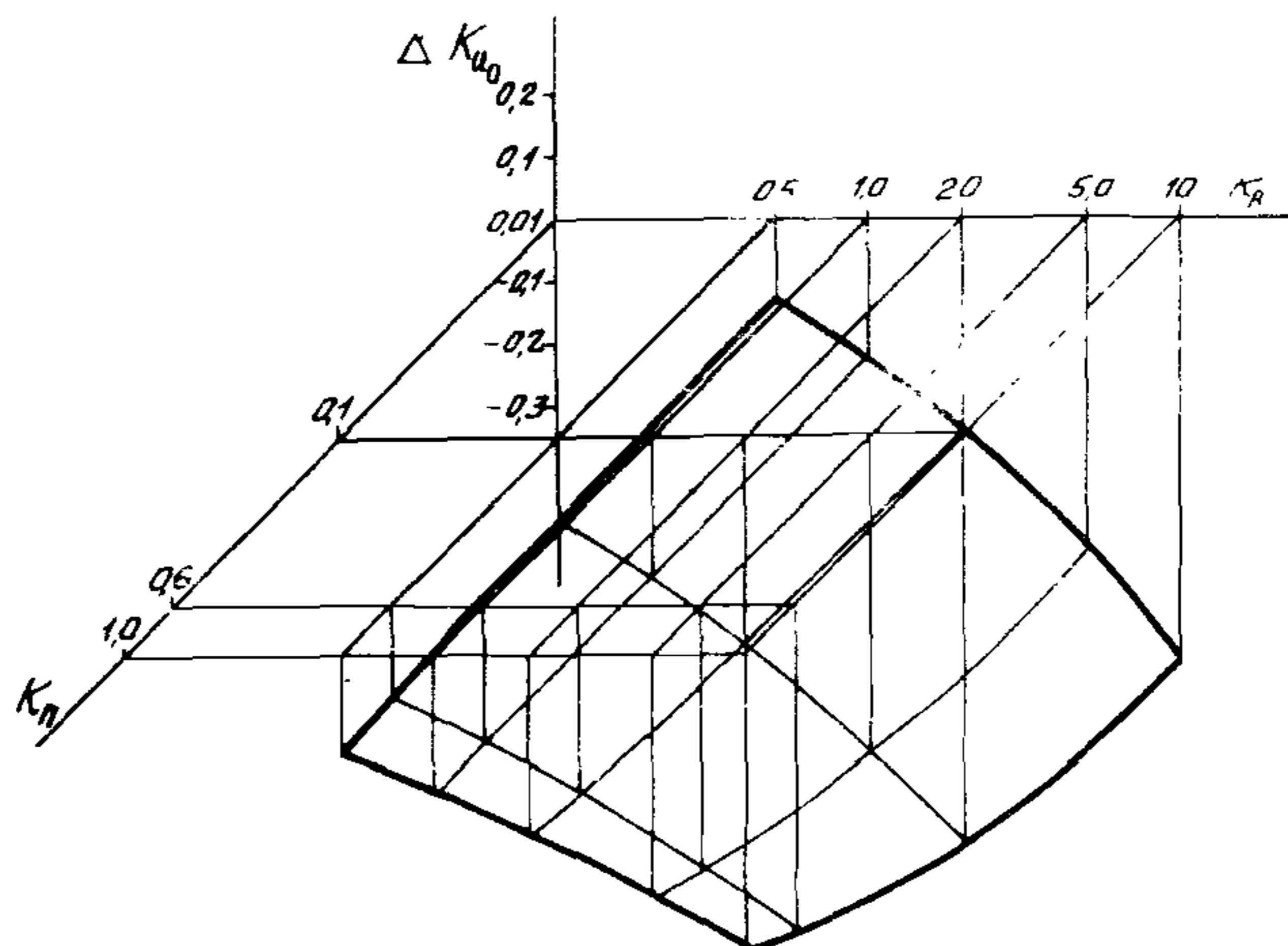


Рис.12. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u0}$  при  $K_\gamma = 1$  и  $n = 3$

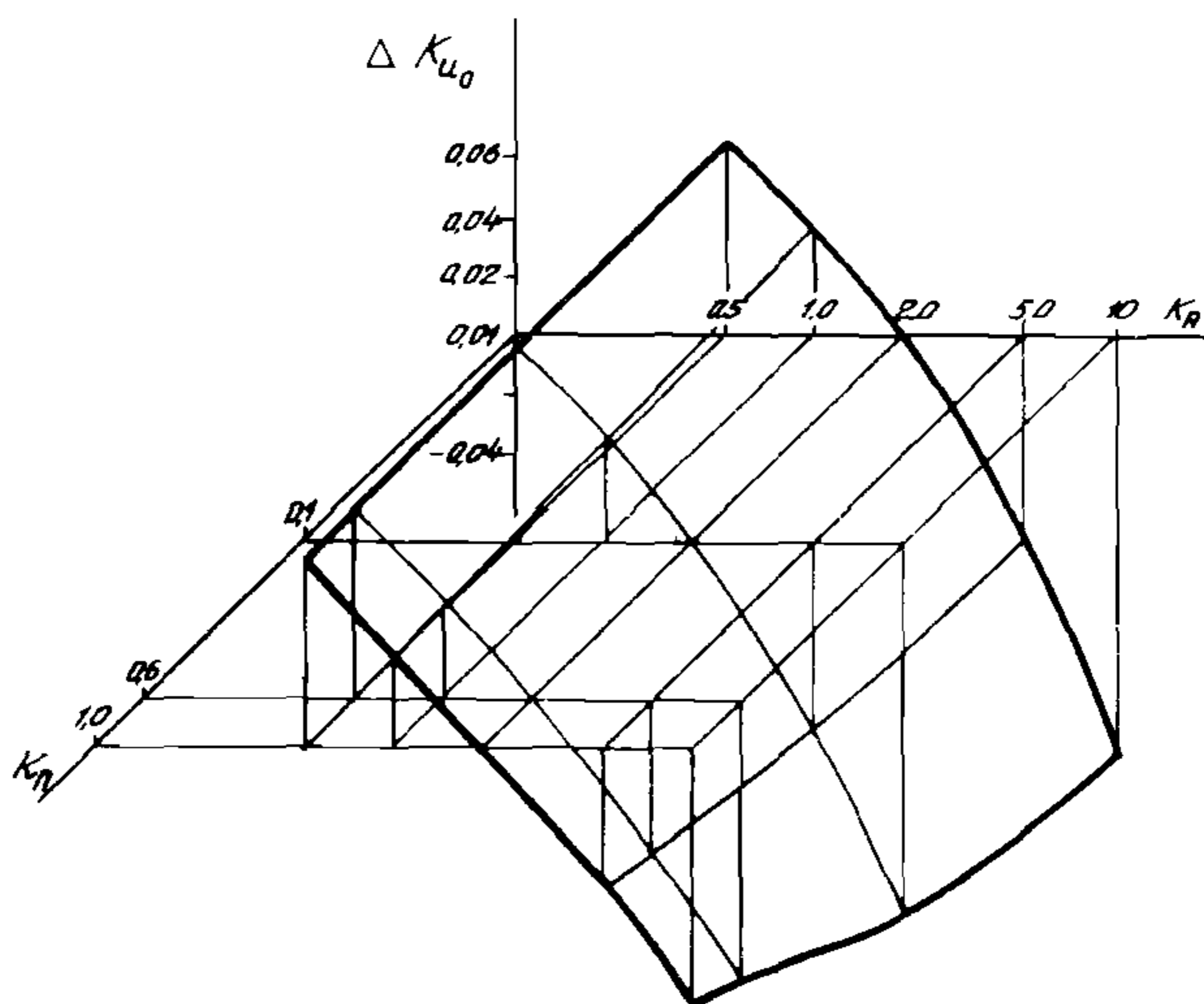


Рис.13. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u0}$  при  $K_\gamma = 2$  и  $n = 1$

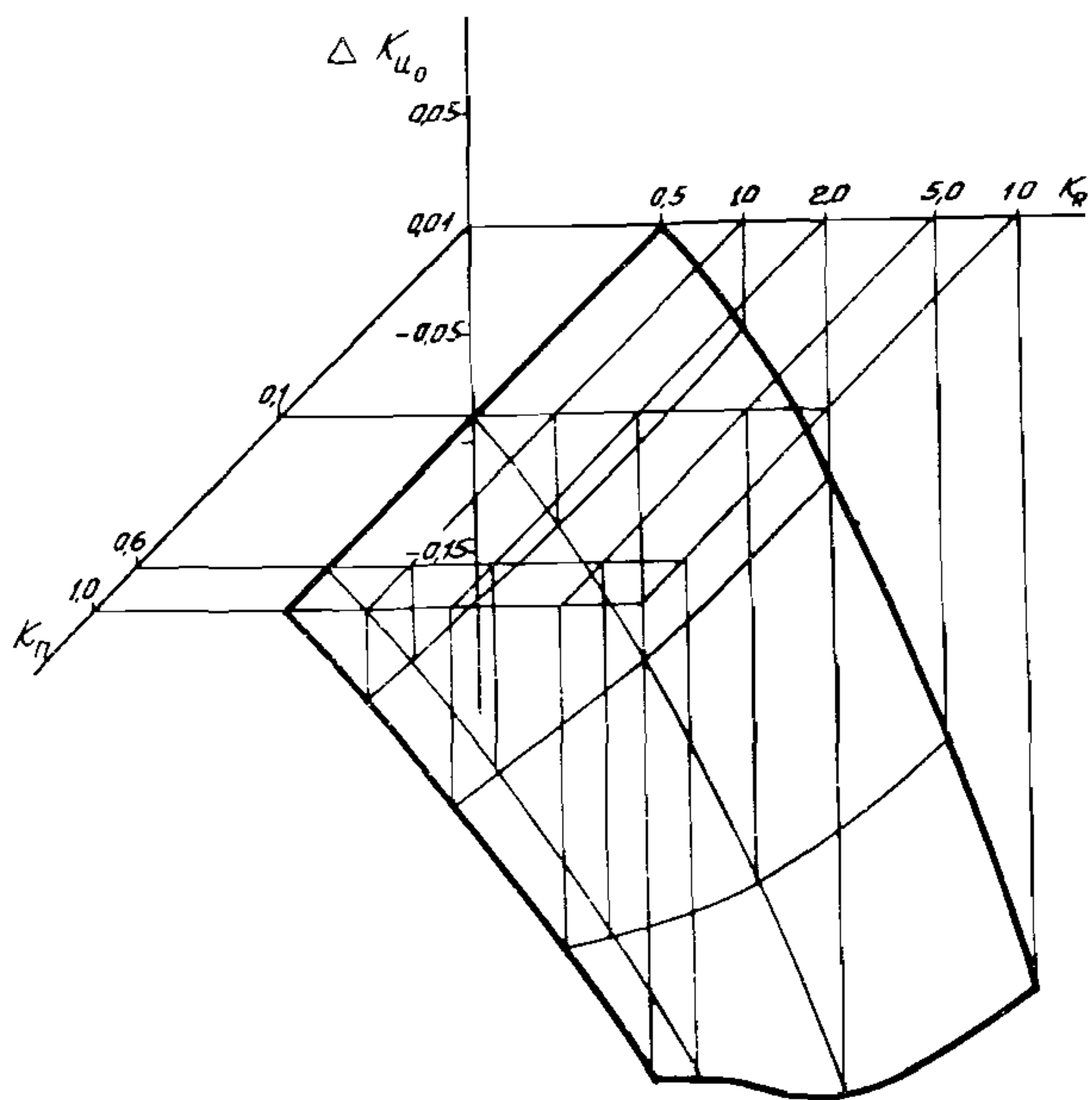


Рис.14. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u0}$  при  $K_\gamma = 2$  и  $n = 2$

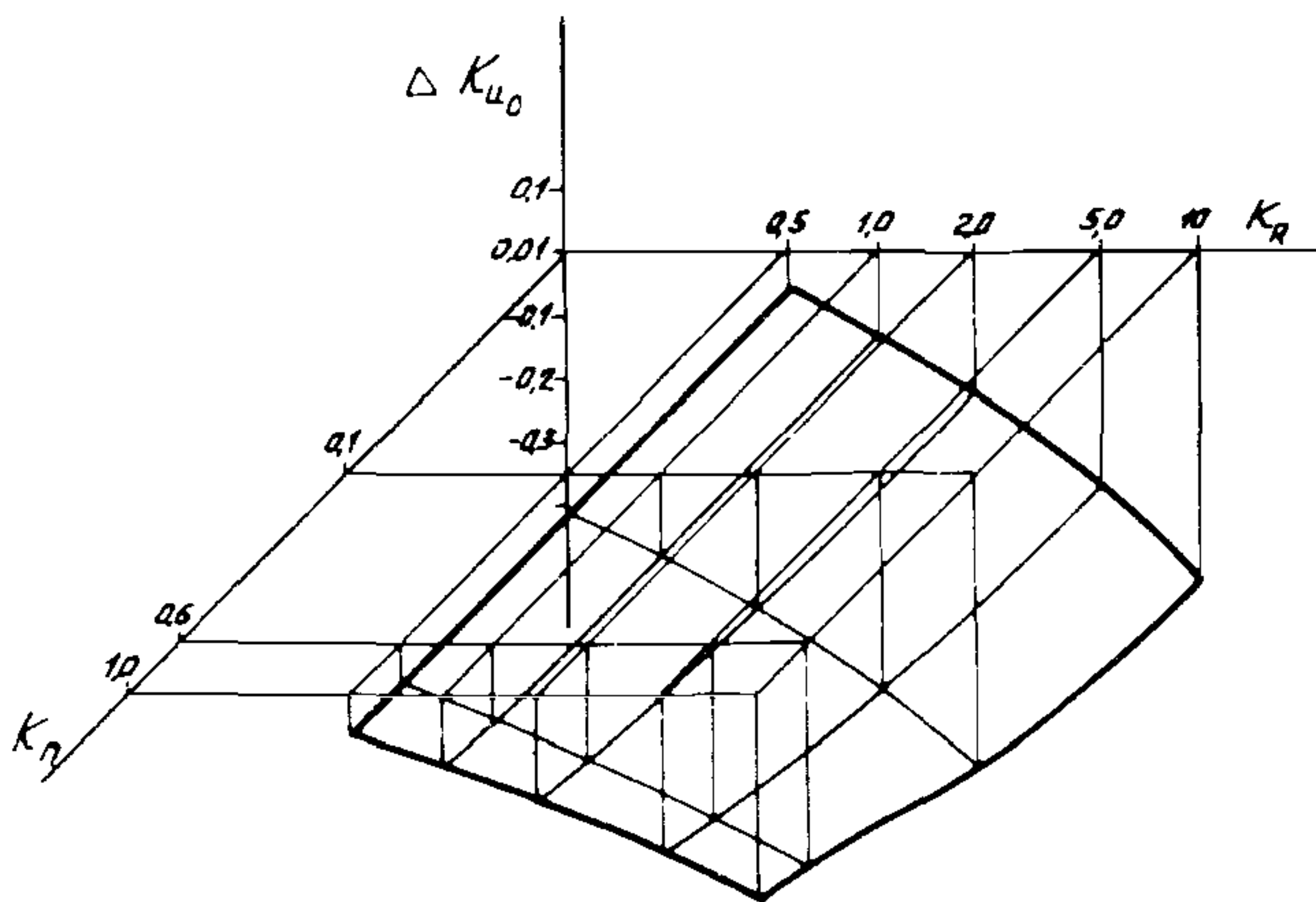


Рис.15. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u1}$  при  $K_\gamma = 2$  и  $n = 3$

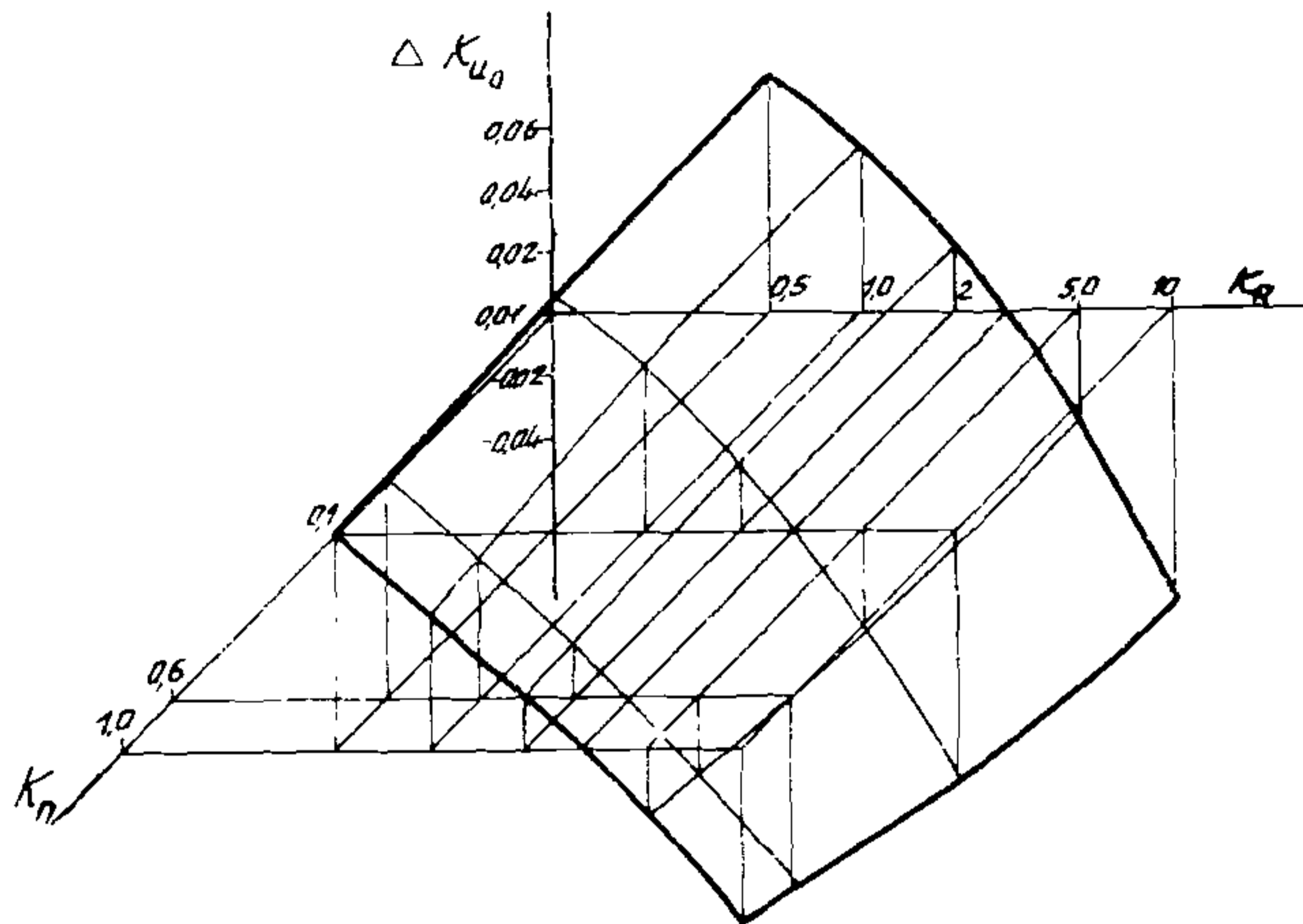


Рис.16. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u0}$  при  $K_2 = 3$  и  $n = 1$

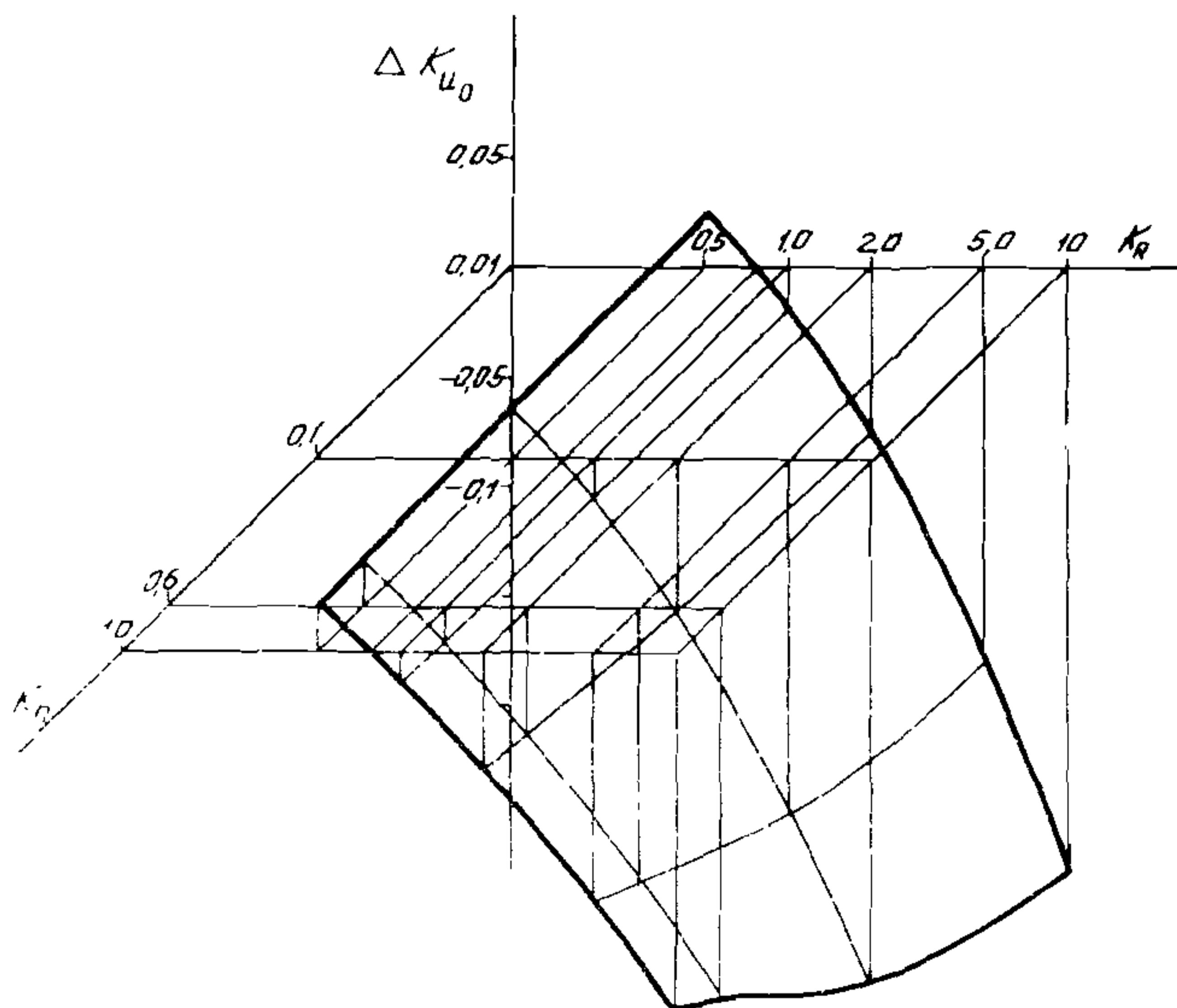


Рис.17. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u0}$  при  $K_2 = 3$  и  $n = 2$

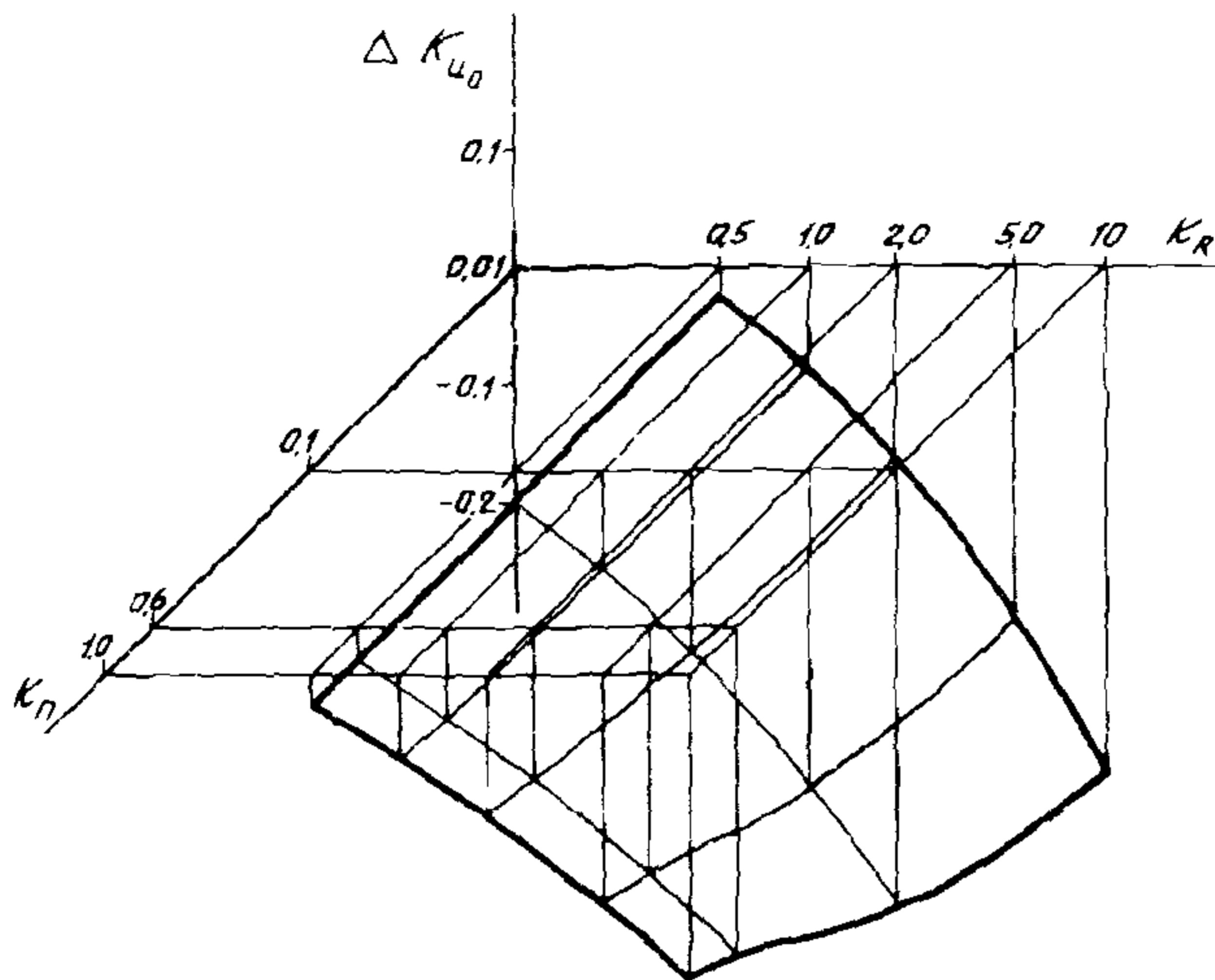


Рис. 18. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_{u0}$  при  $K_z = 3$  и  $n = 3$

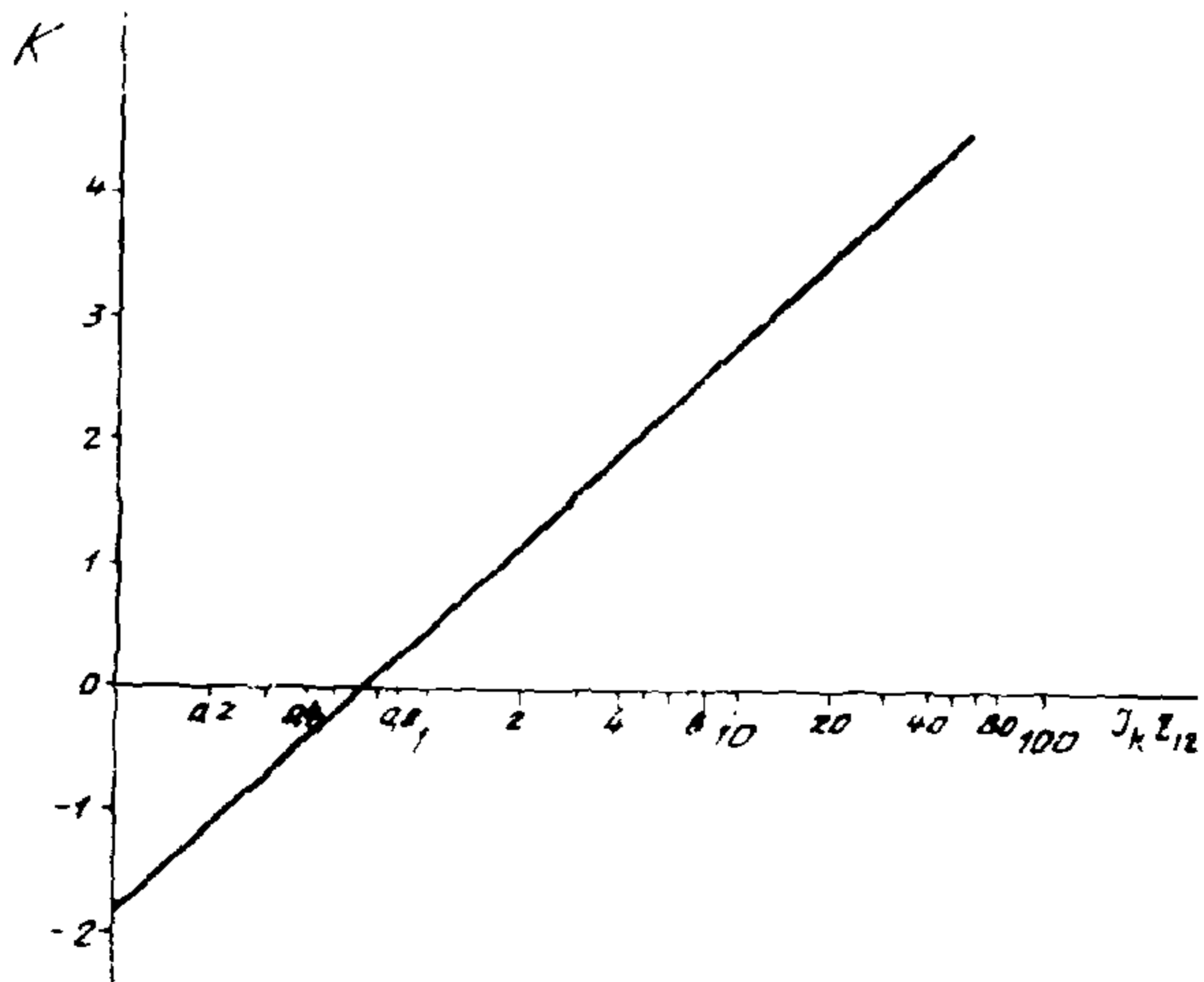
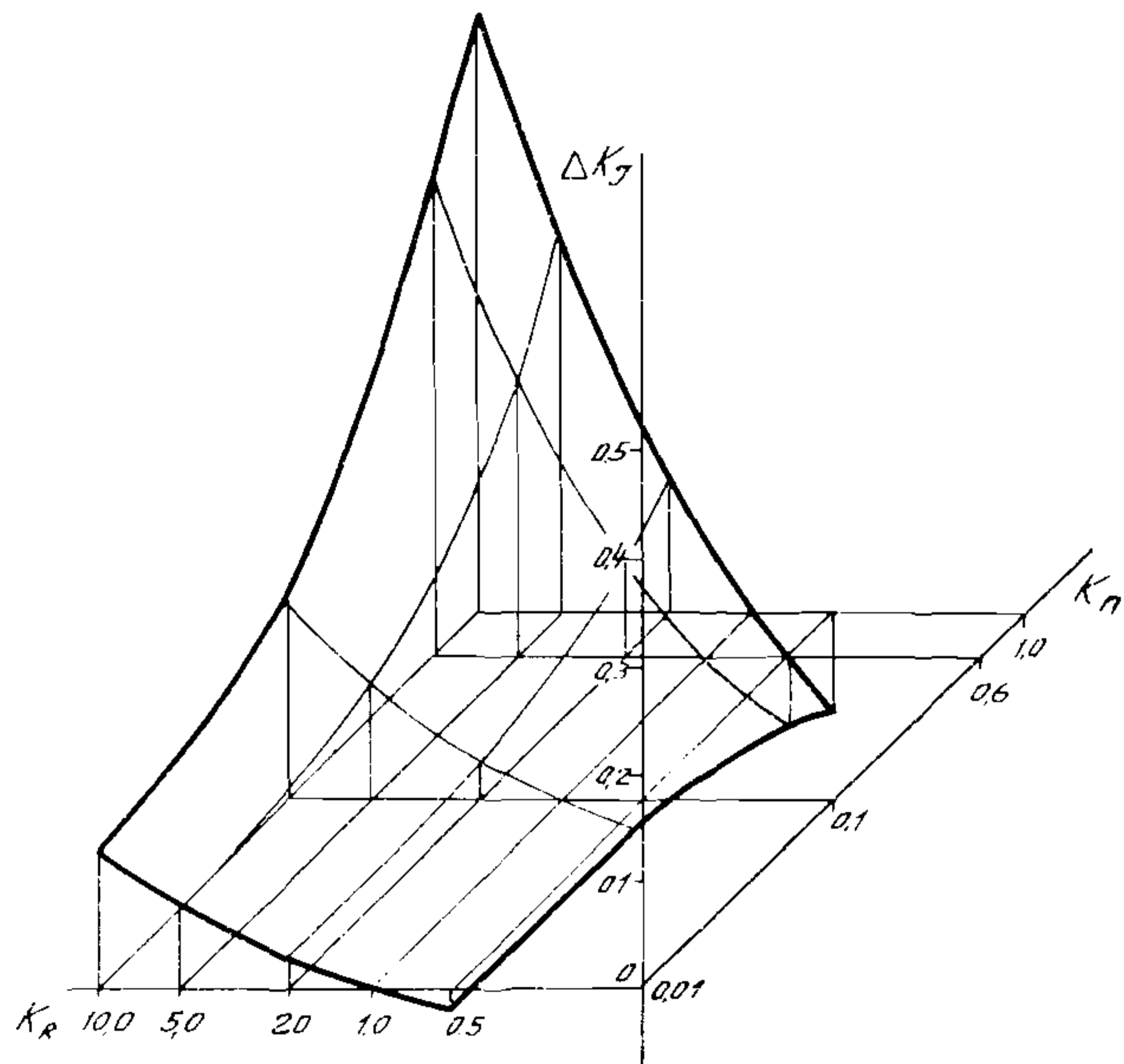
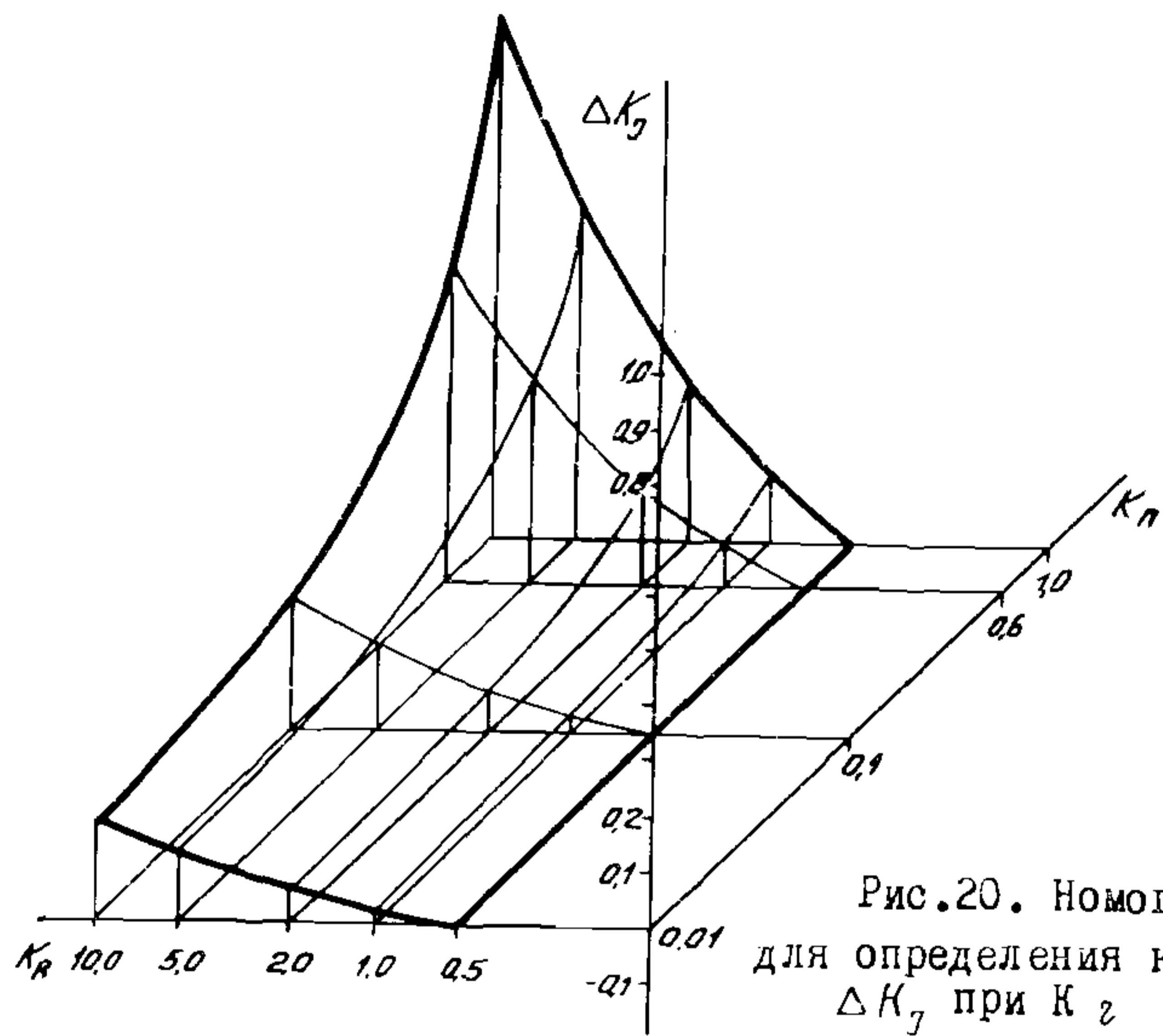


Рис. 19. Определение расчетного коэффициента  $K$  по величине  $J_{k\Sigma_{12}}$



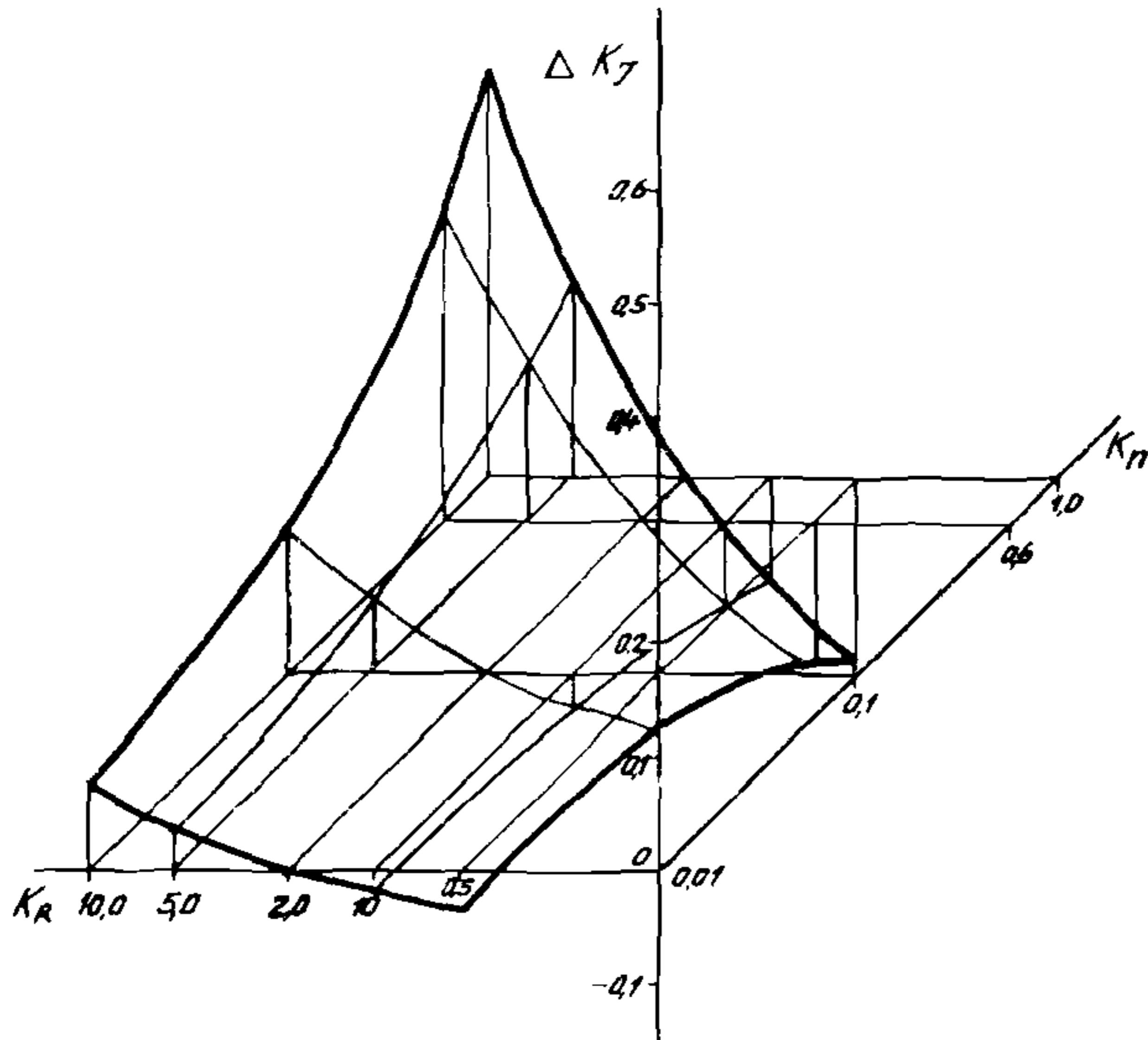


Рис.22. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_7$  при  $K_2 = 2$

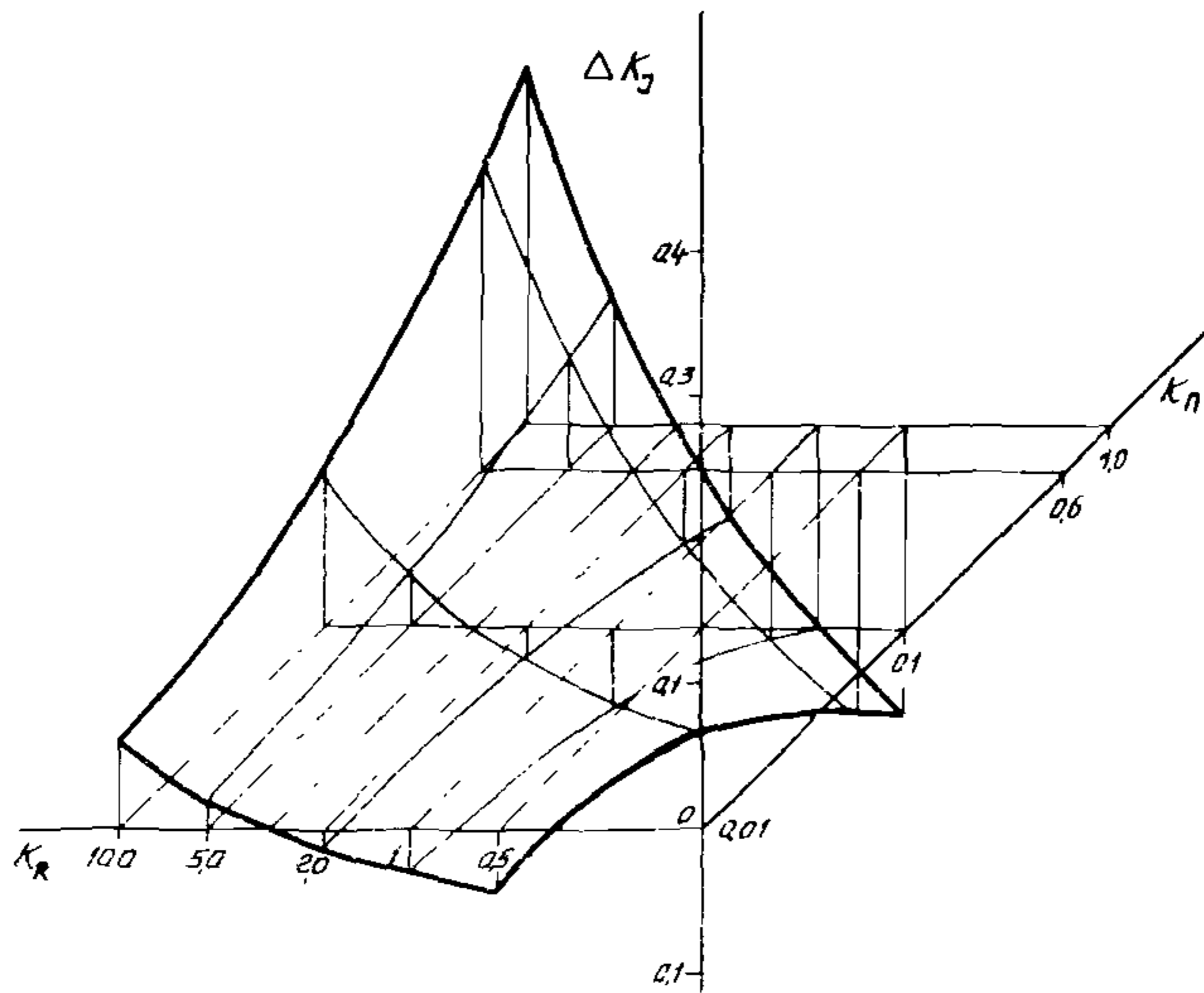


Рис.23. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_7$  при  $K_2 = 3$

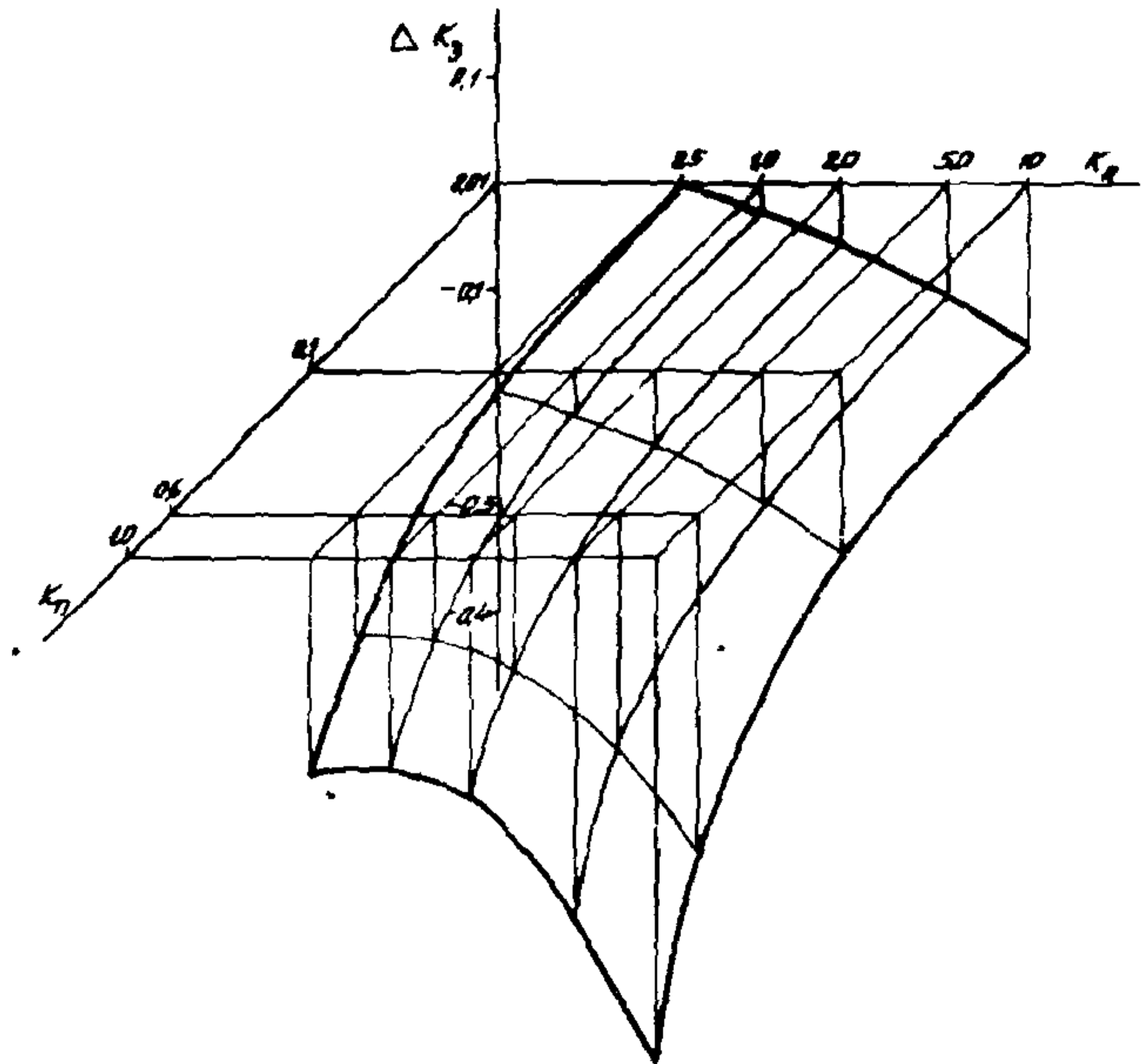


Рис.24. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$  при  $K_3 = 2$  и  $K_2 = 0,5$

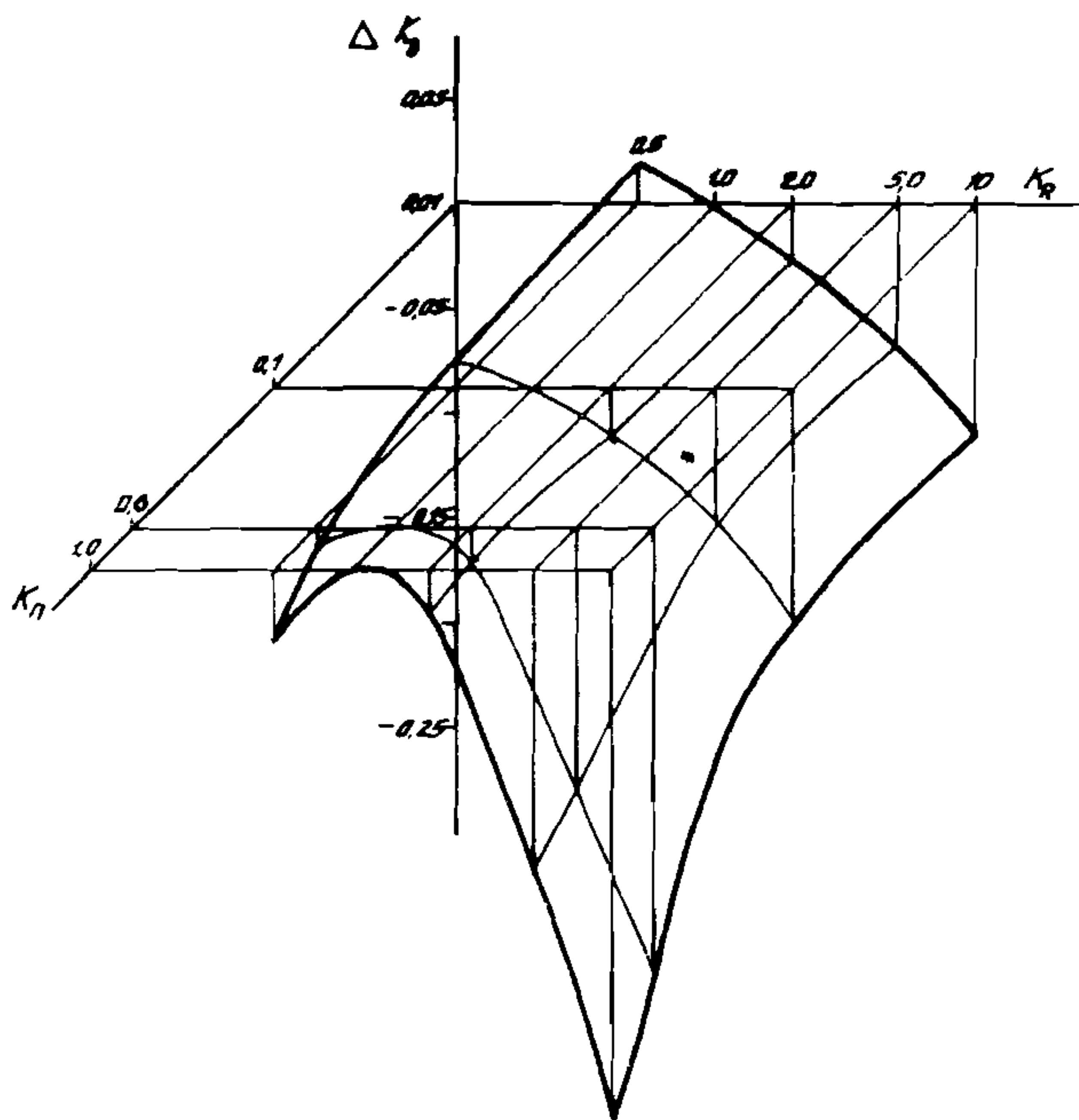


Рис.25. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$   
при  $K_3 = 2$  и  $K_2 = 1$



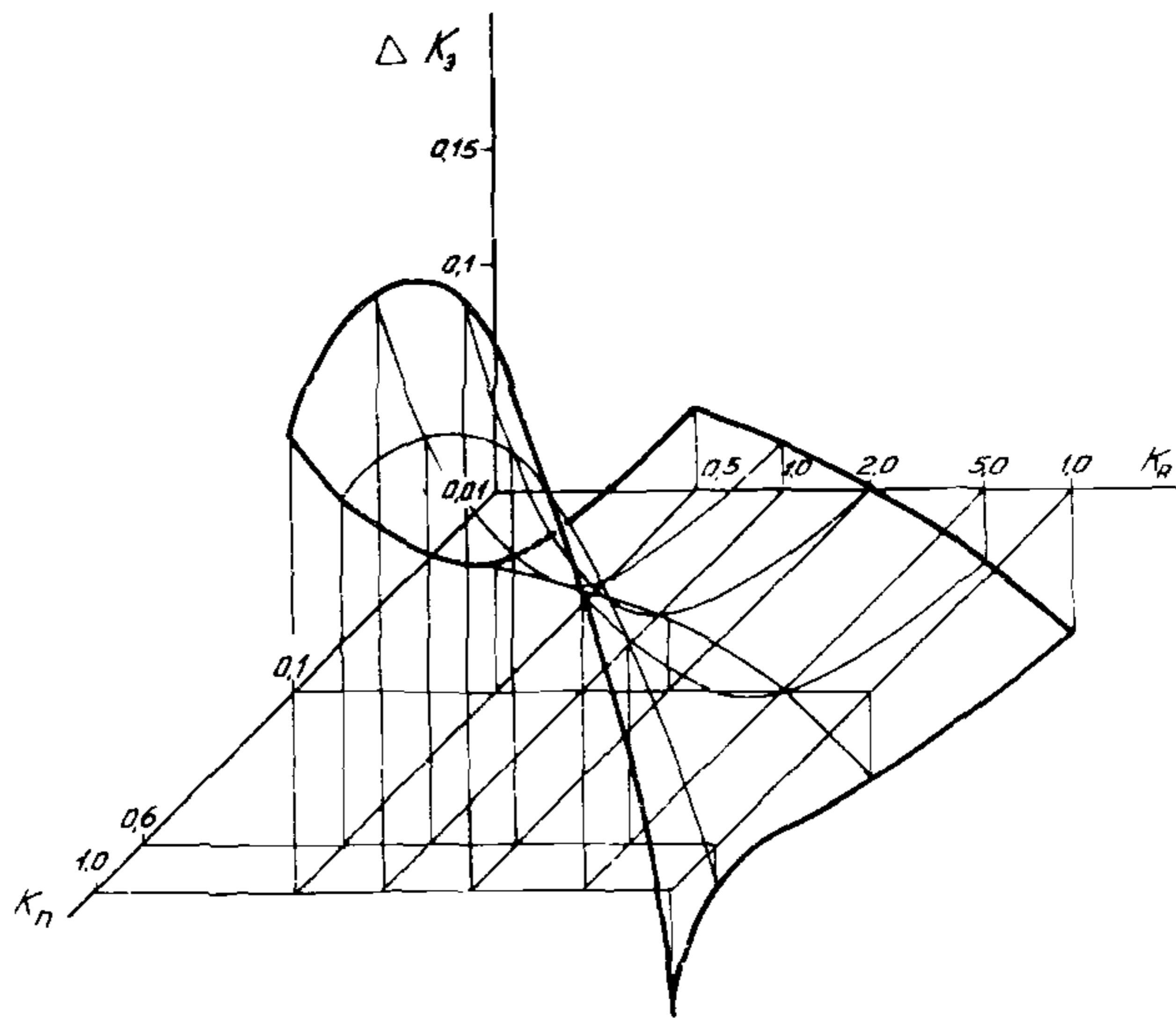


Рис.26. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$  при  $K_3 = 2$  и  $K_2 = 2$

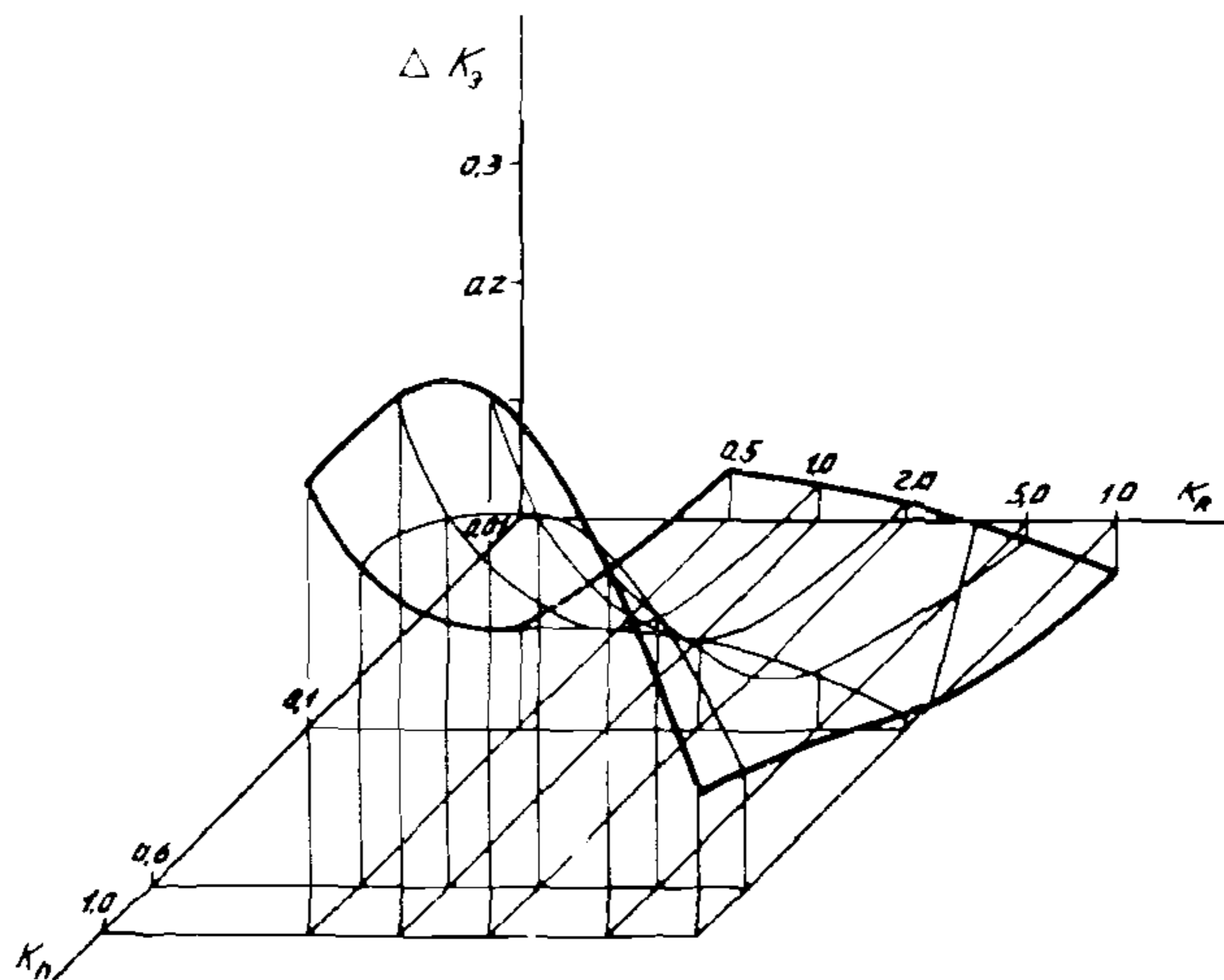


Рис.27. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$  при  $K_3 = 2$  и  $K_2 = 3$

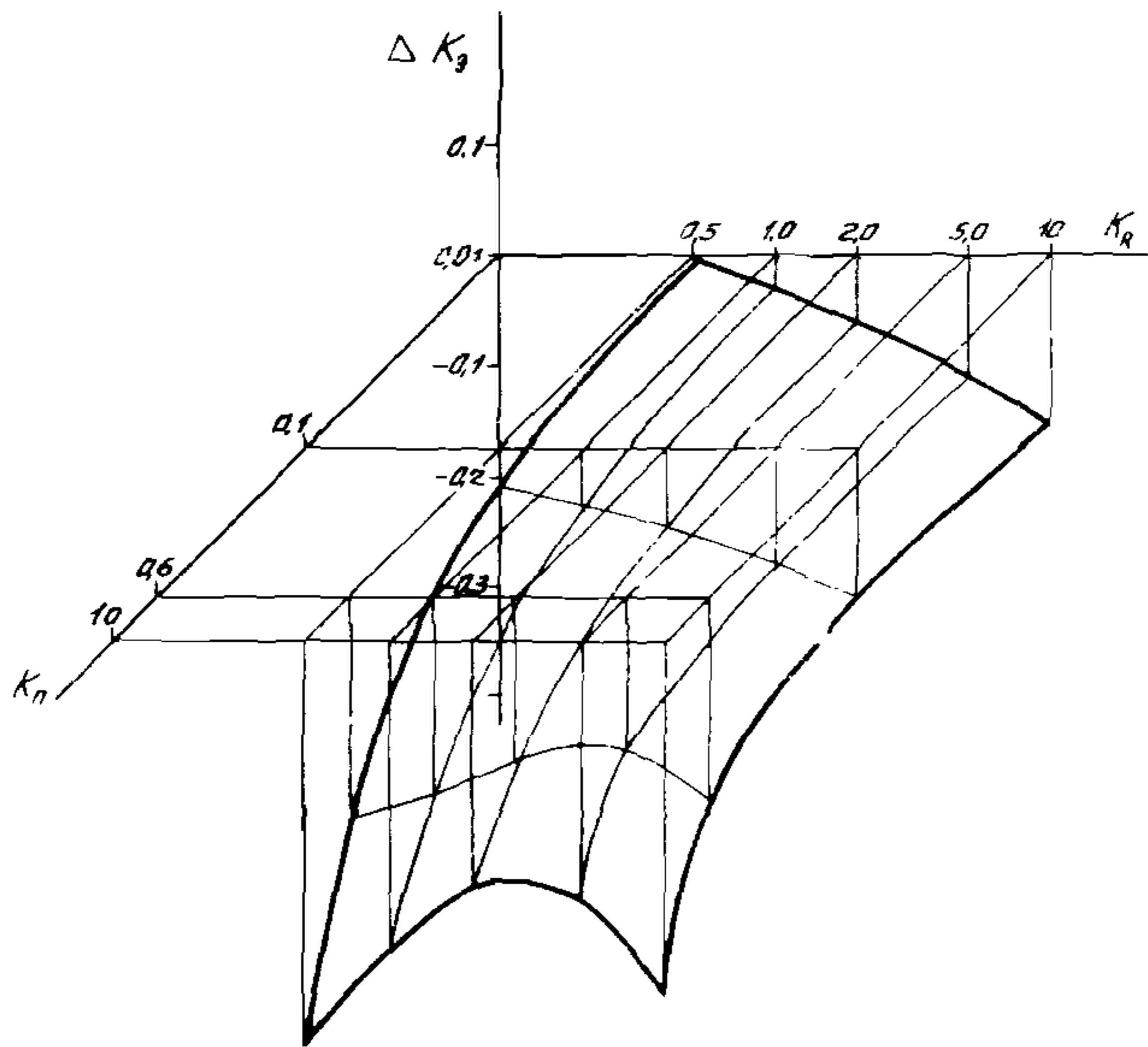


Рис.28. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$   
при  $K_3 = 4$  и  $K_2 = 0,5$

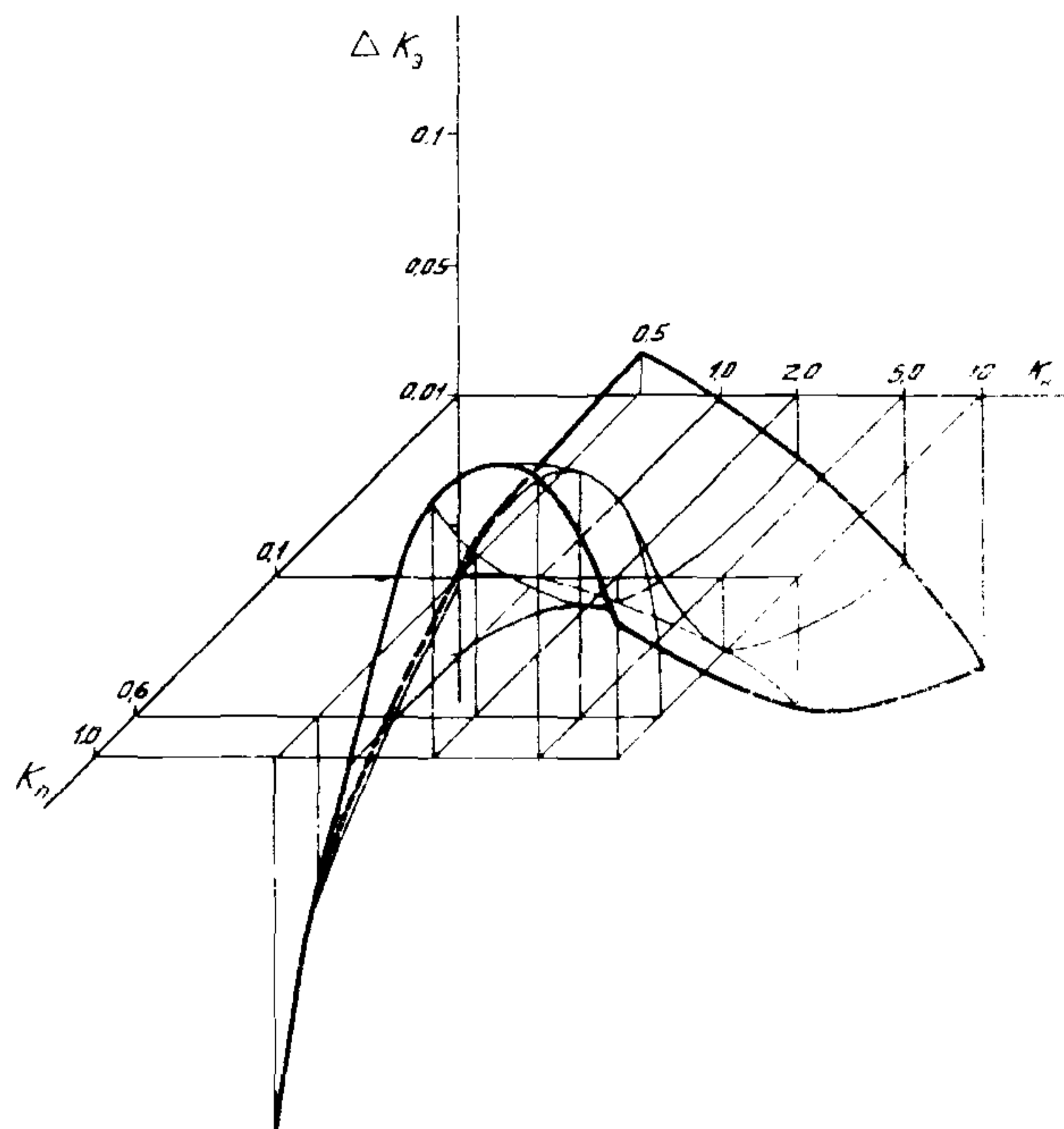


Рис.29. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$   
 при  $K_3 = 4$  и  $K_2 = 1$

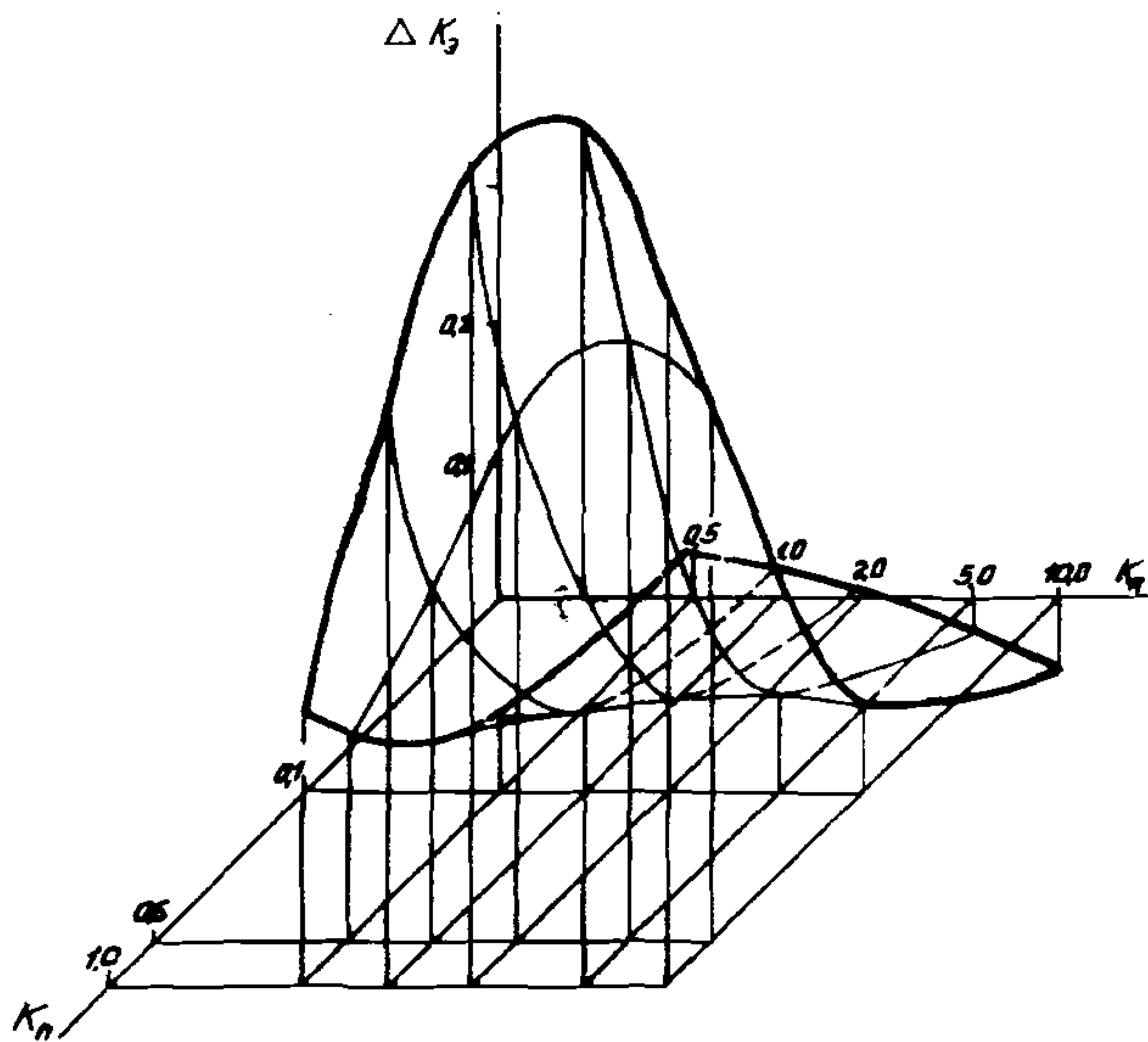


Рис.30. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$   
при  $K_3 = 4$  и  $K_2 = 2$

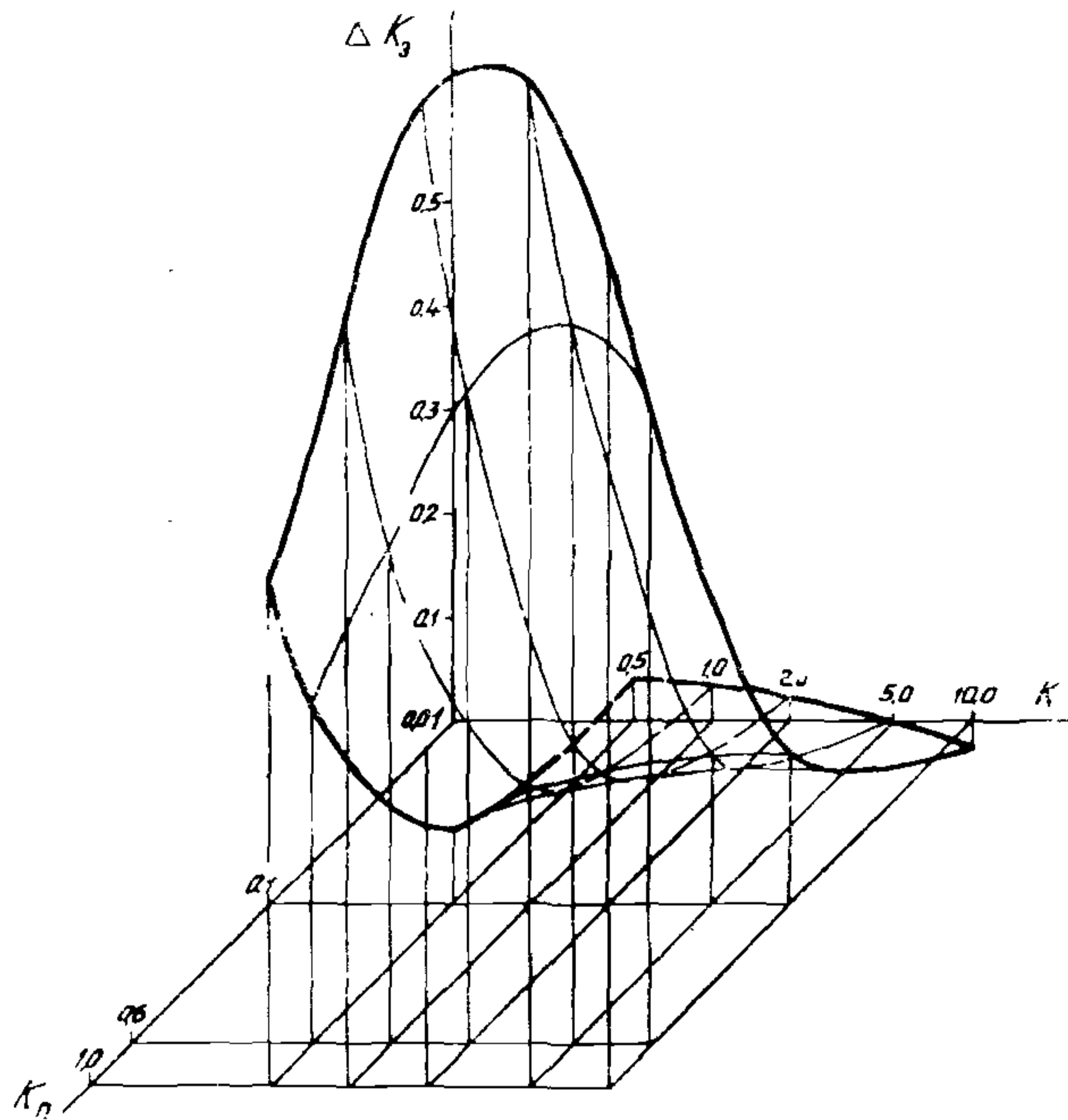


Рис.31. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$ ,  
при  $K_3 = 4$  и  $K_2 = 3$

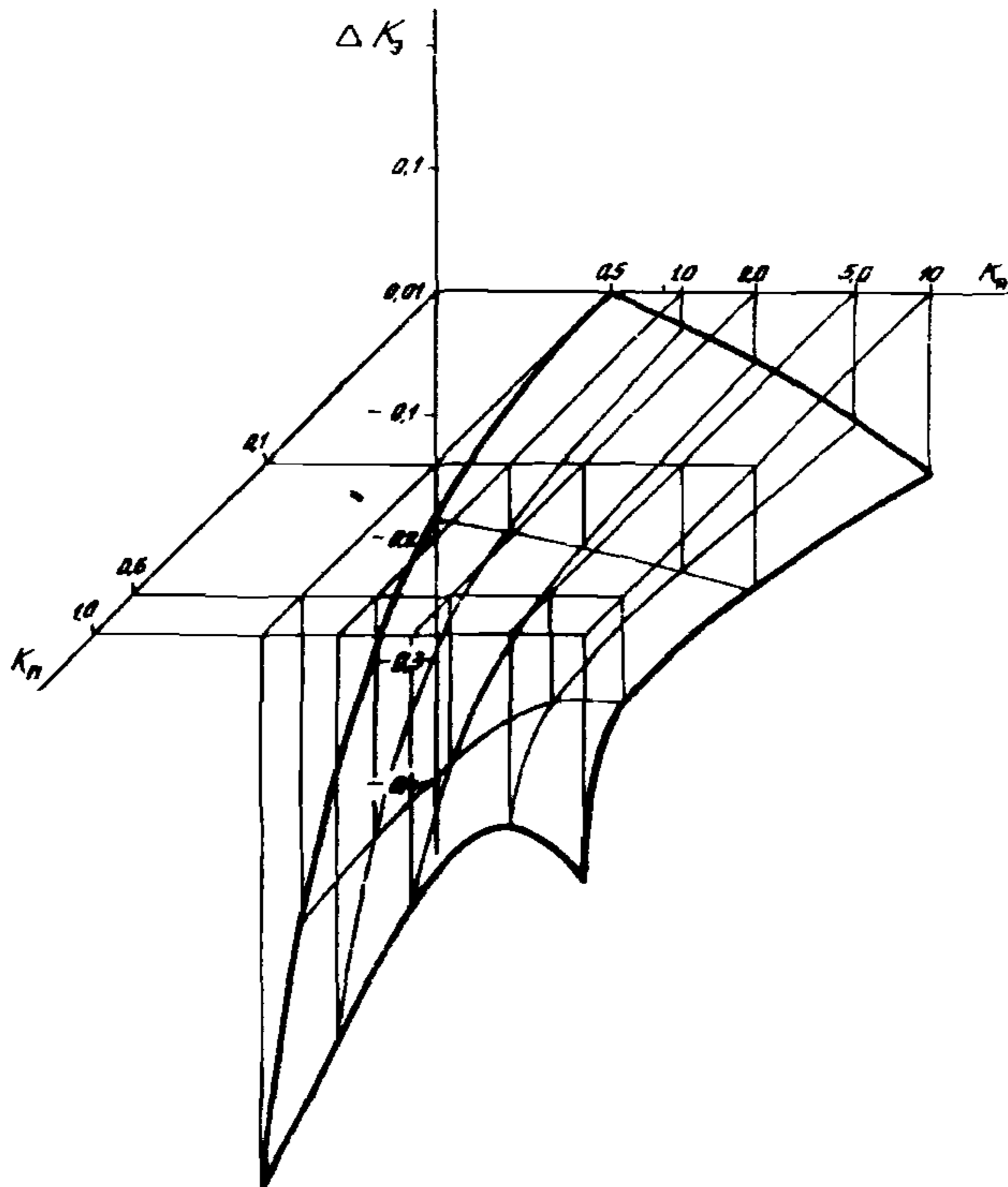


рис. 12. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$   
 при  $K_3 = 6$  и  $K_2 = 0,5$

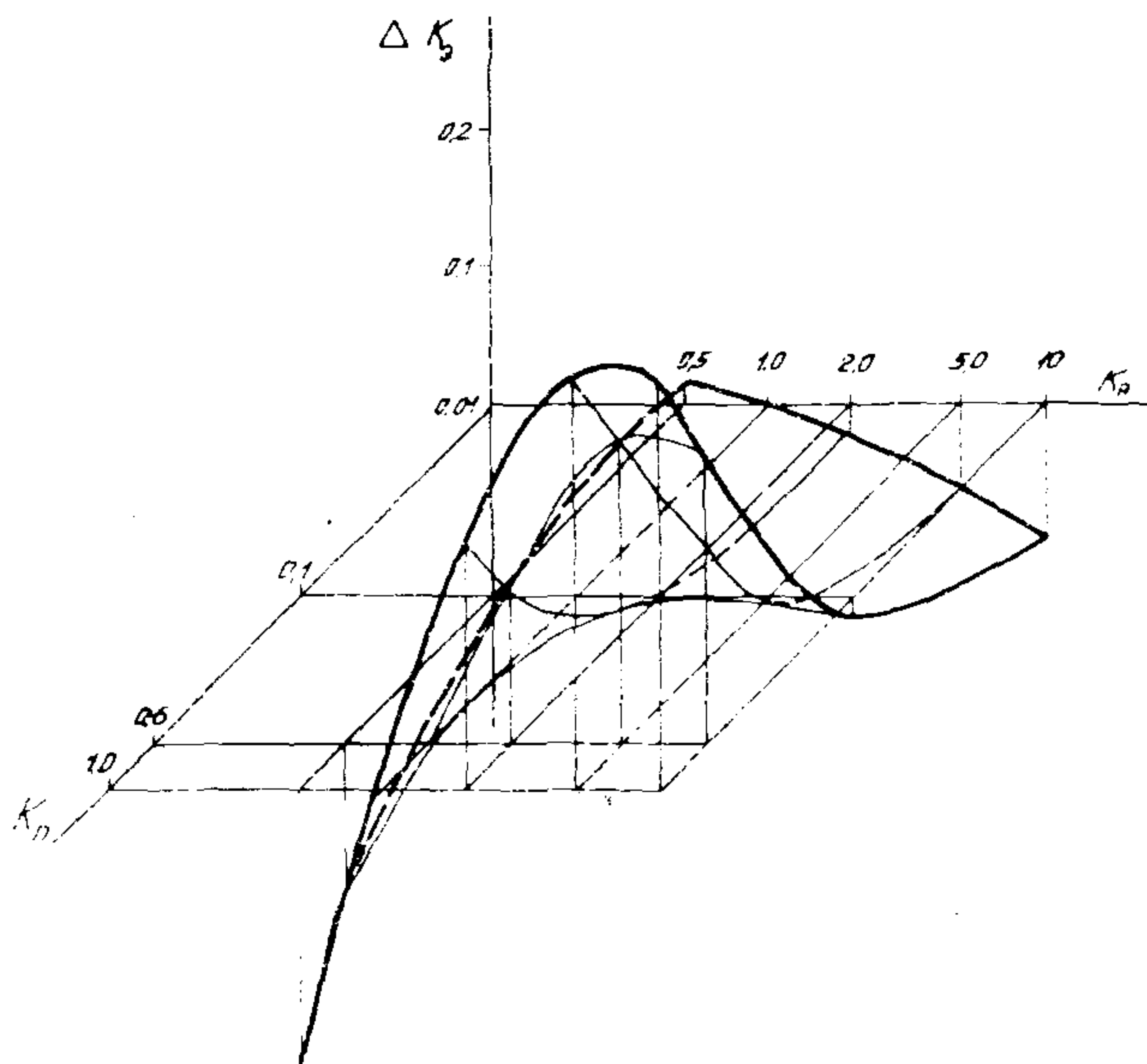


Рис.33. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$   
 при  $K_3 = 6$  и  $K_2 = 1$

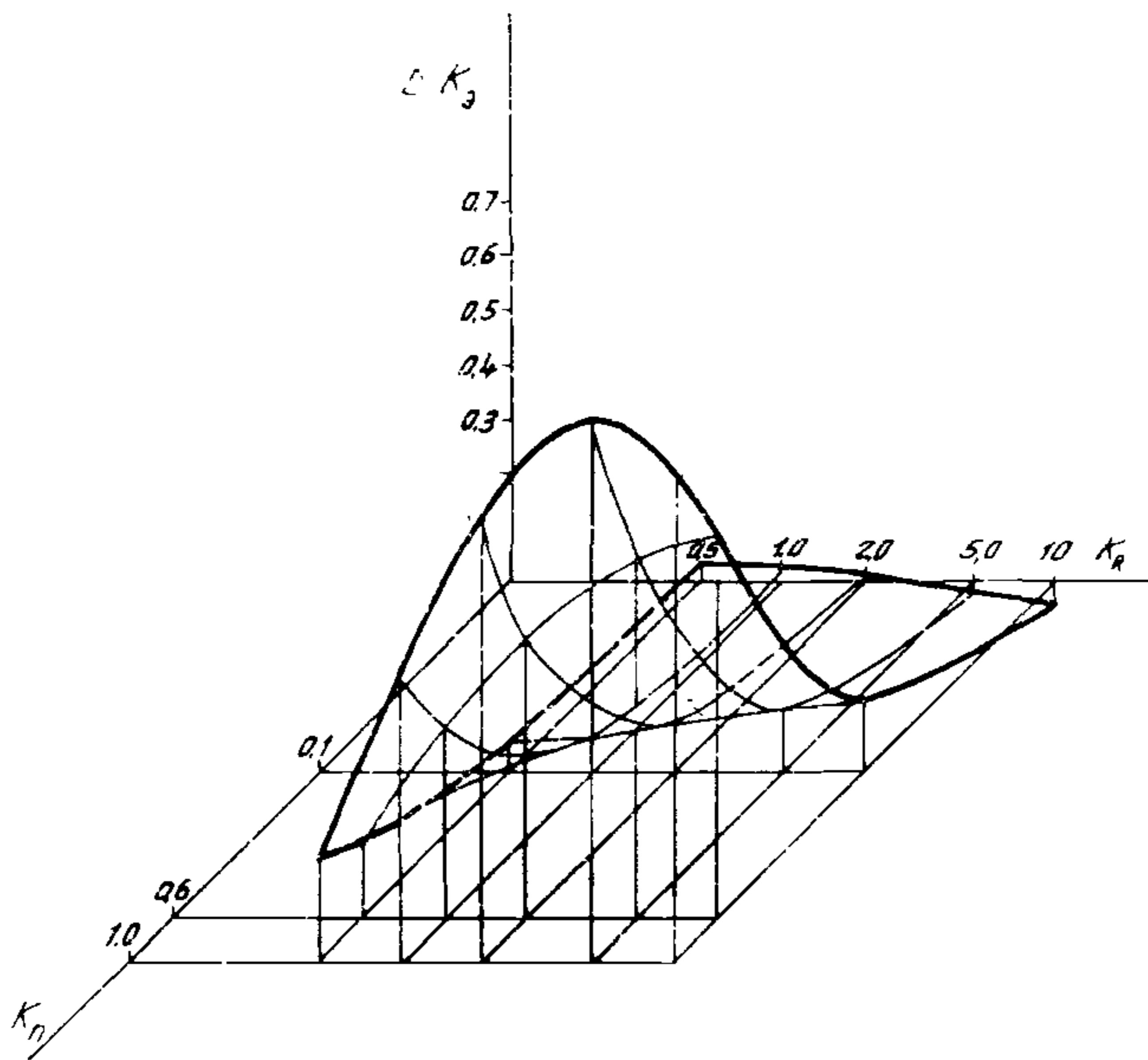


рис. 24. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_2$   
 при  $K_3 = 6$  и  $K_2 = 2$



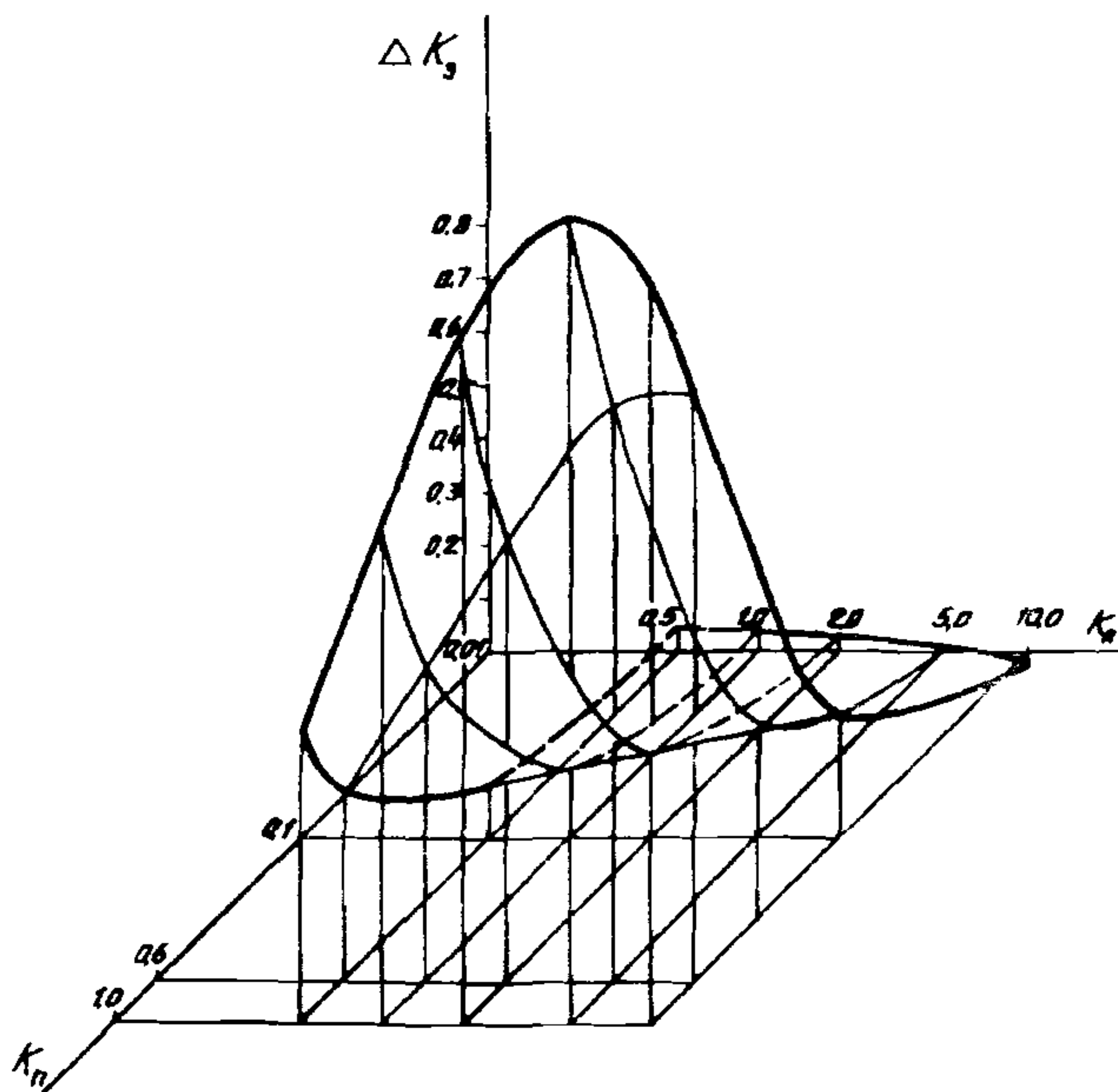


Рис. 35. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$   
при  $K_3 = 6$  и  $K_2 = 3$

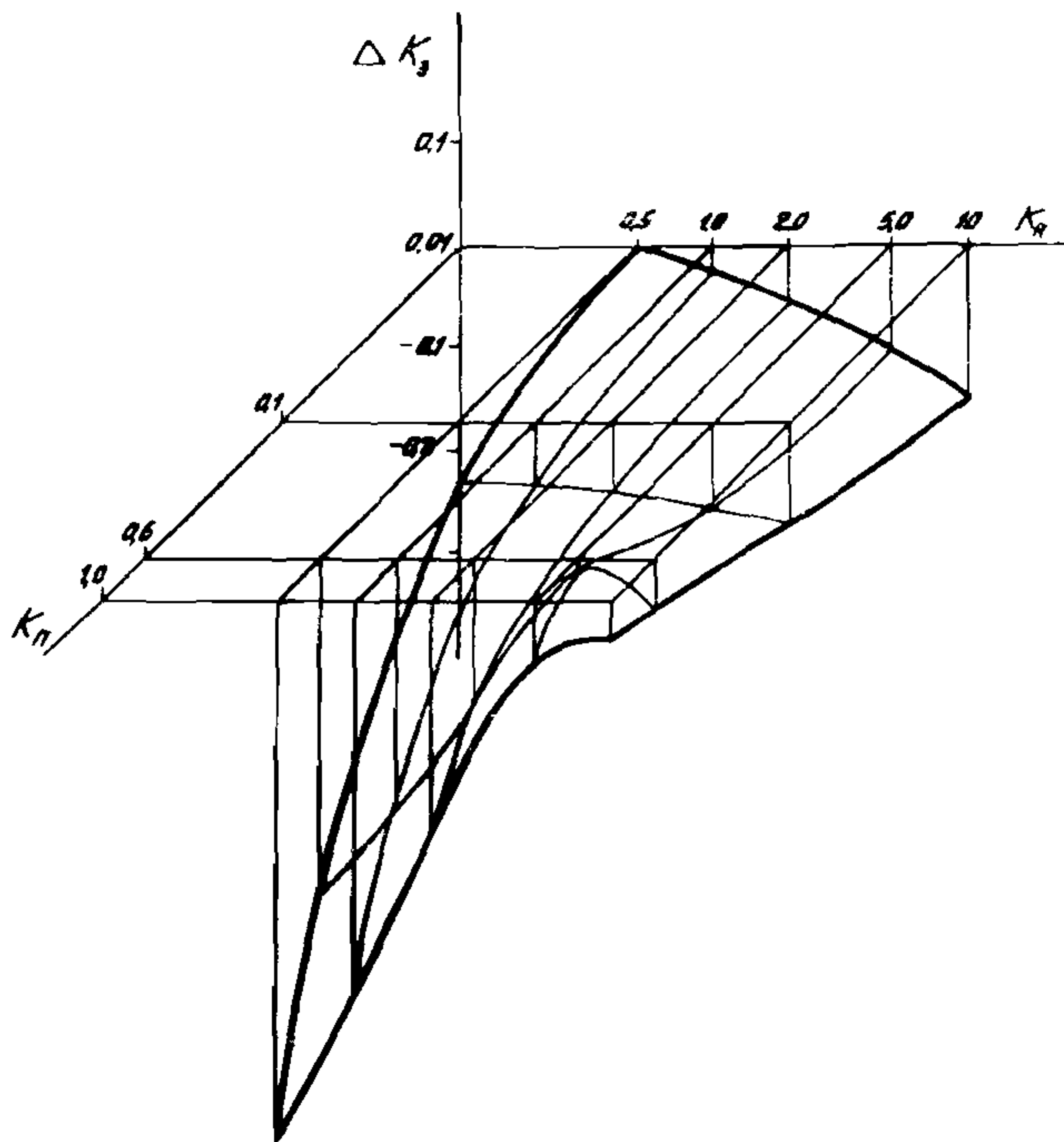


Рис. 36. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$   
 при  $K_3 = 10$  и  $K_2 = 0,5$

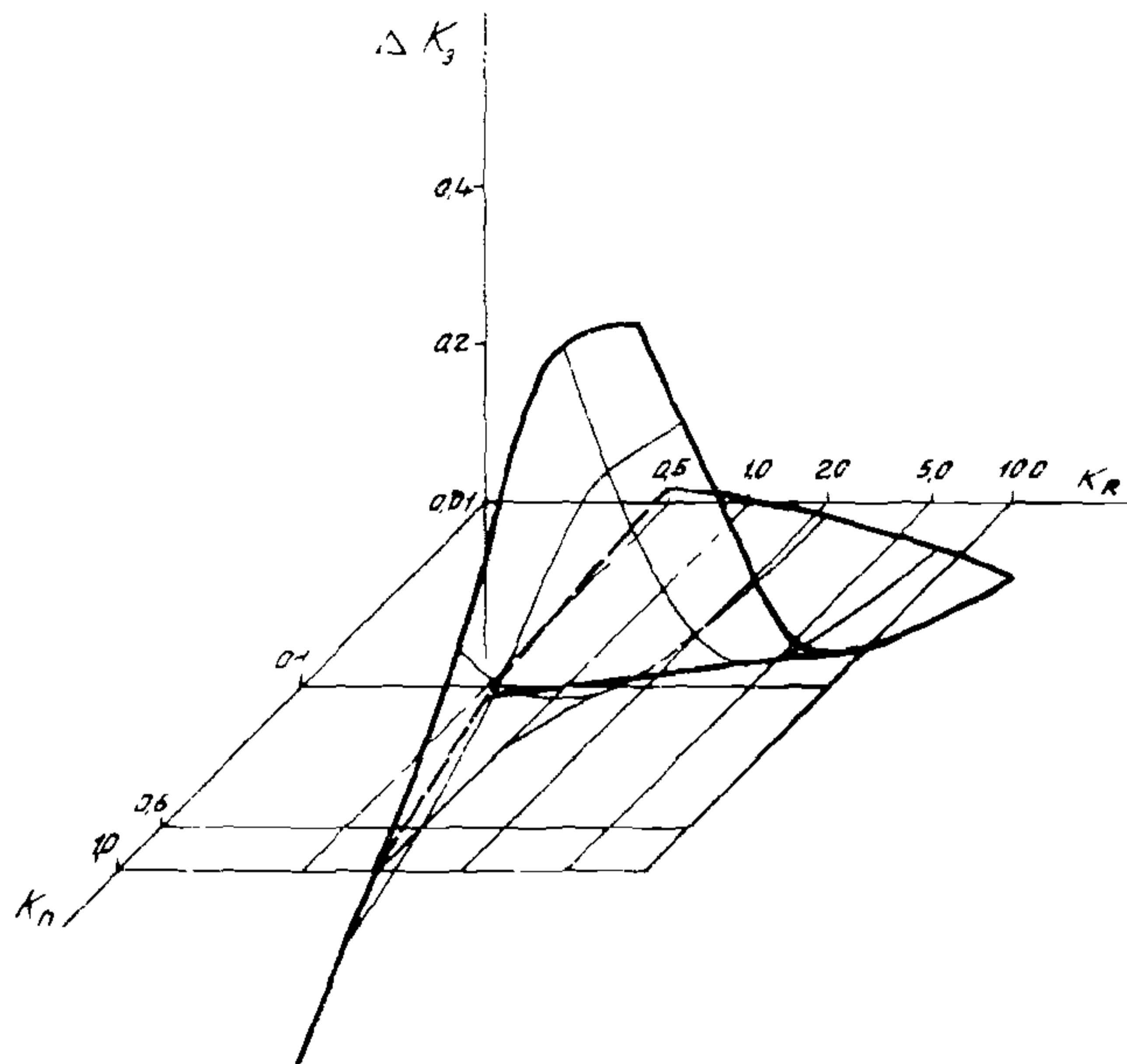


Рис.37. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$   
 при  $K_3 = 10$  и  $K_2 = 1$

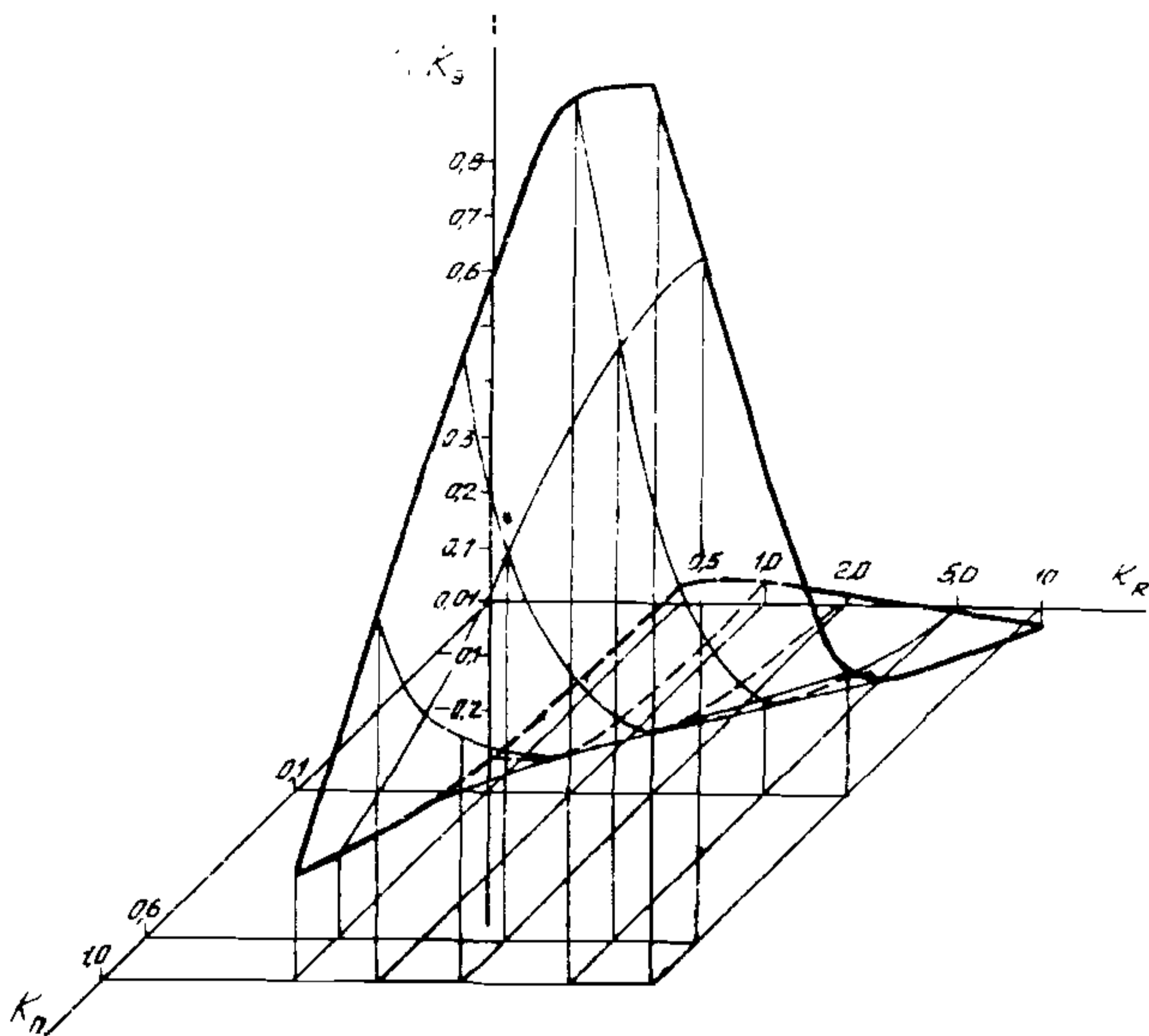


Рис.38. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$  при  $K_3 = 10$  и  $K_2 = 2$

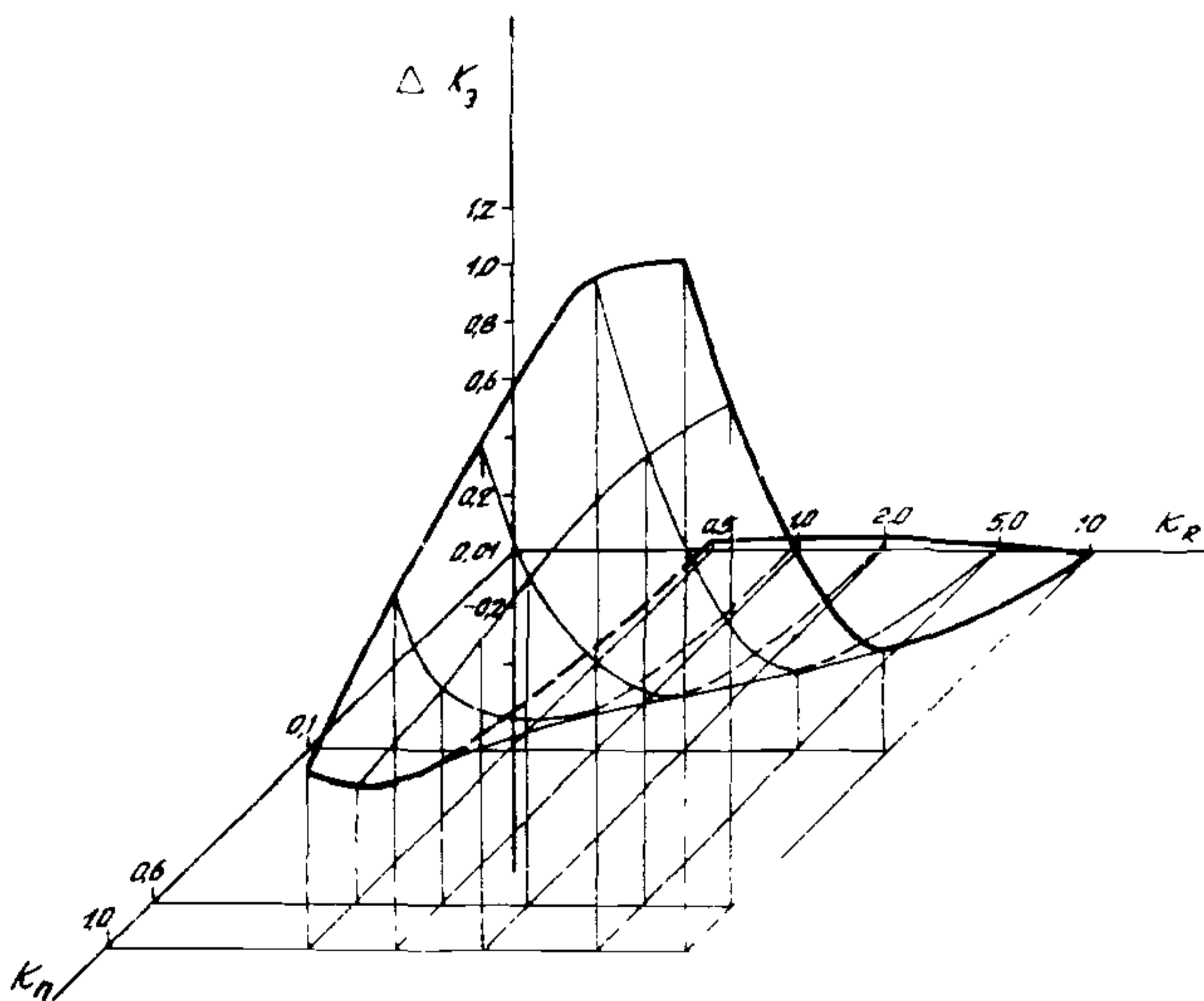


Рис.39. Номограмма для определения коэффициента  $\Delta K_3$  при  $K_3 = 10$  и  $K_2 = 3$

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

$$\Delta K_u = \frac{\Delta K_{uo}}{K},$$

где  $\Delta K_u$  - приведенное значение изменения длины защитной зоны, %;

$K$  - расчетный коэффициент для определения действительного значения коэффициента  $\Delta K_u$ ;

$$K = \rho_n 1,66 J_k Z_{12}.$$

### 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  $\beta$  следует выбирать, исходя из требуемой величины защитного тока протектора и необходимой для этого величины сопротивления растеканию протектора  $R_p$ .

3.3. Сопротивление растеканию спирального протектора можно определять по формуле

$$R_p = R_k + R_0 \epsilon^{ra},$$

где  $R_k$  - предельное значение сопротивления растеканию спирального протектора при бесконечном увеличении шага спирали, Ом;

$$R_k = \frac{0,73 \rho}{L_n} \epsilon q \frac{L_n}{V d h},$$

$L_n$  - длина стержня спирального протектора, м;

$d$  - диаметр стержня спирального протектора, м;

- $h$  - глубина заложения оси спирали, м;  
 $\rho$  - 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;  
 $\gamma$  - приведенный коэффициент распространения тока в спиральном протекторе, м<sup>-1</sup>;

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

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.Хорошева

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