

Для большинства практических ситуаций при $a \gg m$, $\ell \leq 15$, $a \geq 100\text{м}$ первыми членами уравнения (11) можно пренебречь, тогда

$$\frac{m^2}{\ell^2} - \frac{2m}{\ell} + 1 = 0, \quad (12)$$

откуда $m = \ell$. При $k = 0,01$ U составляет от U_0 1% и можно считать, что искажение электрического поля электродов обсадными колоннами незначительно. При $k = 0,01$ $m \approx 100$ г.

При испытании электротехнического комплекса на Усть-Балыкском месторождении на скважинах № 3047 и № 7022 принимали $m \geq 20\text{м}$.

Выводы

1. Для увеличения эффективности электровоздействия на продуктивный пласт необходима изоляция электродов от обсадной колонны.

2. На величину оптимального удаления электрода от обсадной колонны наибольшее влияние оказывают размеры электрода и практически не влияет угол наклона скважины в зоне забоя.

3. В большинстве практических ситуаций можно принимать величину оптимального удаления электрода от обсадной колонны равной радиусу эквивалентного шарового электрода, увеличенному в 100 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов П. Л. Метод интенсификации притоков малодебитных скважин путем воздействия постоянным электрическим током / Математическое и информационное моделирование: Сб. науч. тр. Вып. 5. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2003. С. 111-118.

2. Белоусов П. Л. Технический комплекс для электровоздействия на продуктивный нефтяной пласт / Математическое и информационное моделирование: Сб. науч. тр. Вып. 5. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2003. С. 102-111.

3. Белоусов П. Л. Электротехническая модель установки для повышения дебита скважин / Математическое и информационное моделирование: Сб. науч. тр. Вып. 6. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2004. С. 111 - 117.

4. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. М.: ВШ, 1973. 752 с.

5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука. 1997. 832 с.

*Галина Борисовна БАРСКАЯ —
доцент кафедры информационных
систем, к. т. н.*

УДК 622.691

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕМНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОСНОВАНИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

АННОТАЦИЯ. Фундамент под резервуары большой емкости состоит из трех элементов: сваи, ростверк и плиты перекрытия. Расходы на перекрытие составляют 50-52% от общего расхода железобетона. С целью снижения стоимости фундамента были разработаны объемные же-

лезобетонные элементы. Их преимущество заключается в снижении расхода железобетона, и, кроме того, конфигурация перекрытия дает возможность приблизить ее к площади основания резервуара, что дает значительный экономический эффект.

The base under reservoirs of the big capacity consists of three elements: piles, beam and plates of the overlapping. The costs on overlapping forms 50-52% of general expenses of reinforced concrete. The three-dimensional iron-concrete elements were designed for to reduce the cost of the base. Their advantage is to be found in the reduction of the expenses of the reinforced concrete and besides, the configuration of the overlapping enables to draw it to the area of the base of the reservoir that provides the significant economic effect.

В основании резервуаров, выполненных на сваях стоимость свай составляет до 55% от стоимости основания, стоимость плит — до 36%, а стоимость монолитного железобетонного ростверка — до 9%. Учитывая значительные объемы монолитного и сборного железобетона для ростверков, для перекрытия основания вертикального стального резервуара разработаны новые безростверковые основания, позволяющие ликвидировать монолитные железобетонные ростверки.

Одним из основных преимуществ безростверковых оснований является практически полная ликвидация мокрых процессов. Трудоемкость возведения безростверковых оснований также незначительна. Особенностью всех типов безростверковых оснований являются высокие требования при забивке свай, а следовательно, высокая квалификация экипажей сваебойных агрегатов.

Целями разработки являются:

- отыскание оптимальных параметров, дающих минимальную суммарную стоимость сборных элементов;
- разработка конструкций, позволяющих ликвидировать мокрые процессы при строительстве оснований под вертикальные стальные резервуары большой емкости;
- разработка конструкций оснований резервуаров, позволяющих применять их в условиях вечномерзлых грунтов.

Для перекрытия оснований резервуаров разработаны модели объемных железобетонных элементов коробчатого типа в виде усеченных 3-х или 4-гранных пирамид (рис. 1). Предлагаемая модель является общим случаем, так как контурные ребра могут быть наклонены к горизонту под любым углом.

При разработке модели объемных железобетонных элементов основной задачей является оптимизация нескольких независимых параметров, определяющих форму плит: угла наклона боковой грани к горизонту α , отношения длины

стороны меньшего основания к стороне большего основания $A = \frac{a_2}{a_1}$ и двух не-

зависимых переменных: h — высота сечения и μ — объемный коэффициент армирования, определяющих конструкцию верхней и боковых плит.

Критерием оптимизации является минимум стоимости материалов (сталь и бетон). Кроме того, к расходу арматурной стали необходимо прибавить расход стали на стяжной стержень, препятствующий потере геометрической фор-

мы элемента под нагрузкой. Для определенности оптимизируется треугольный в плане элемент, автоматически перенося полученные результаты на 4-х угольные элементы.

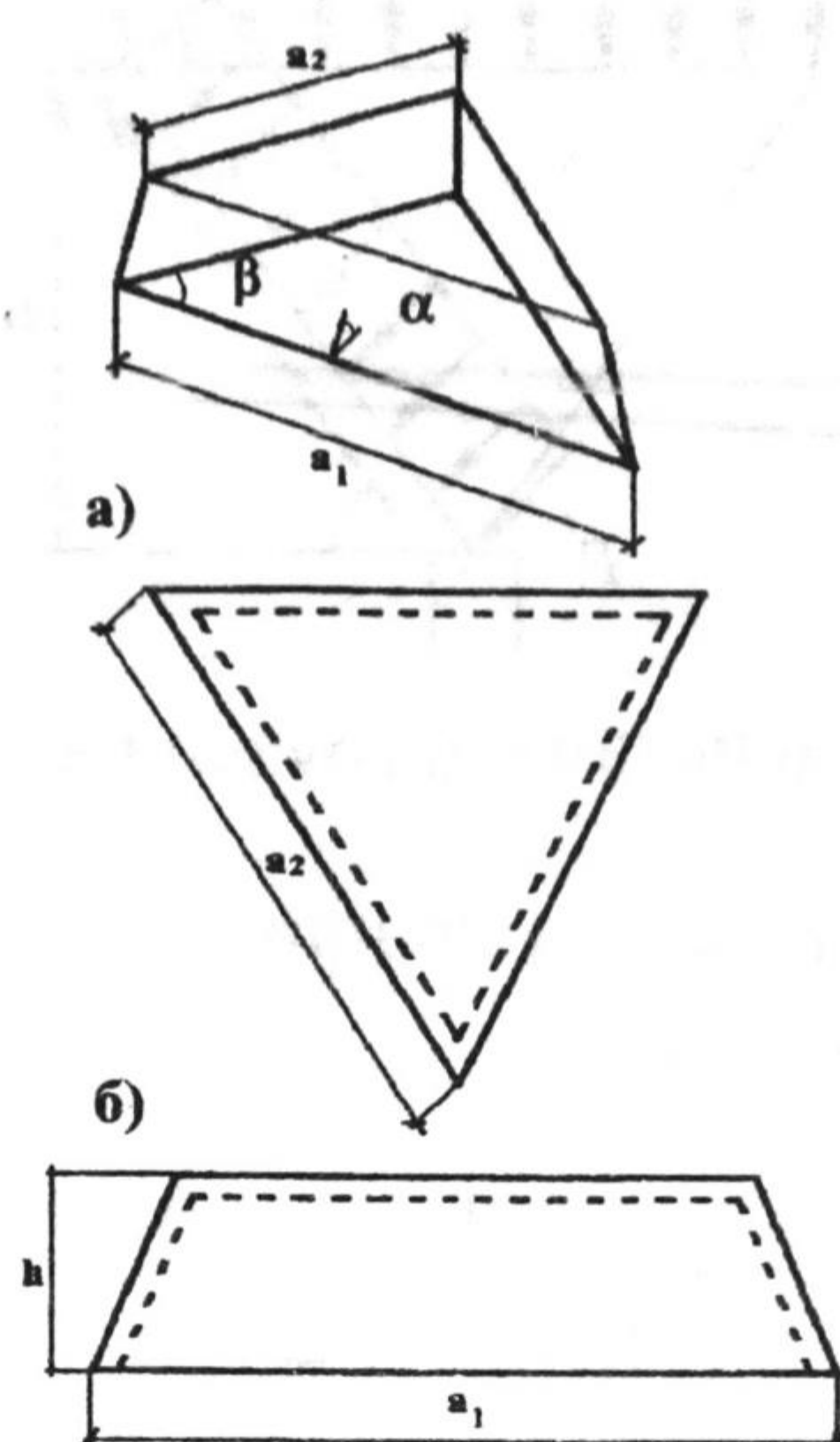


Рис. 1. Объемный элемент перекрытия: а) вид сверху, б) вид сбоку

Площадь боковой поверхности и площадь вертикальной плиты определяются соответственно формулами:

$$F_{бок} = 3a_1^2 \frac{1 - A^2}{4} \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = 0,43 \cdot a^2 \cdot (1 - A^2) \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

$$F_{верх} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{4} a_1^2 \cdot A^2 = 0,43 \cdot a_1^2 \cdot A$$

где a_1 — длина стороны меньшего основания, см;

a_2 — длина стороны большего основания, см.

Верхняя грань объемного элемента рассчитывается на изгиб как треугольная плита, опертая по контуру. Расчетным моментом является момент, возникающий в центре плиты, по таблицам А. Ф. Смотров [1] он равен:

$$m_{mp} = 0,0164 \cdot P \cdot a_1^2 \cdot A$$

где P — давление, передаваемое от веса продукта в резервуаре на 1 м^2 площади основания резервуара.

Боковая грань рассчитывается как прямоугольная плита, свободно опертая по трем сторонам. Расчетный момент вычисляется по формуле:

$$m_{np} = \frac{p' \cdot a_1^2}{8} \cdot K$$

где p' — нормальная равномерно распределенная по площади боковой плиты нагрузка;

K — определяется в зависимости от отношения $\gamma = \frac{h}{a_1}$ по таблицам А. Ф. Смотров

На рис. 2 видно, что p' выражается по формуле:

$$p' = \frac{P}{1 + f_{mp} \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

где f_{mp} — коэффициент трения песка по бетону в состоянии покоя (принято: $f_{mp} \cong 0,5$);

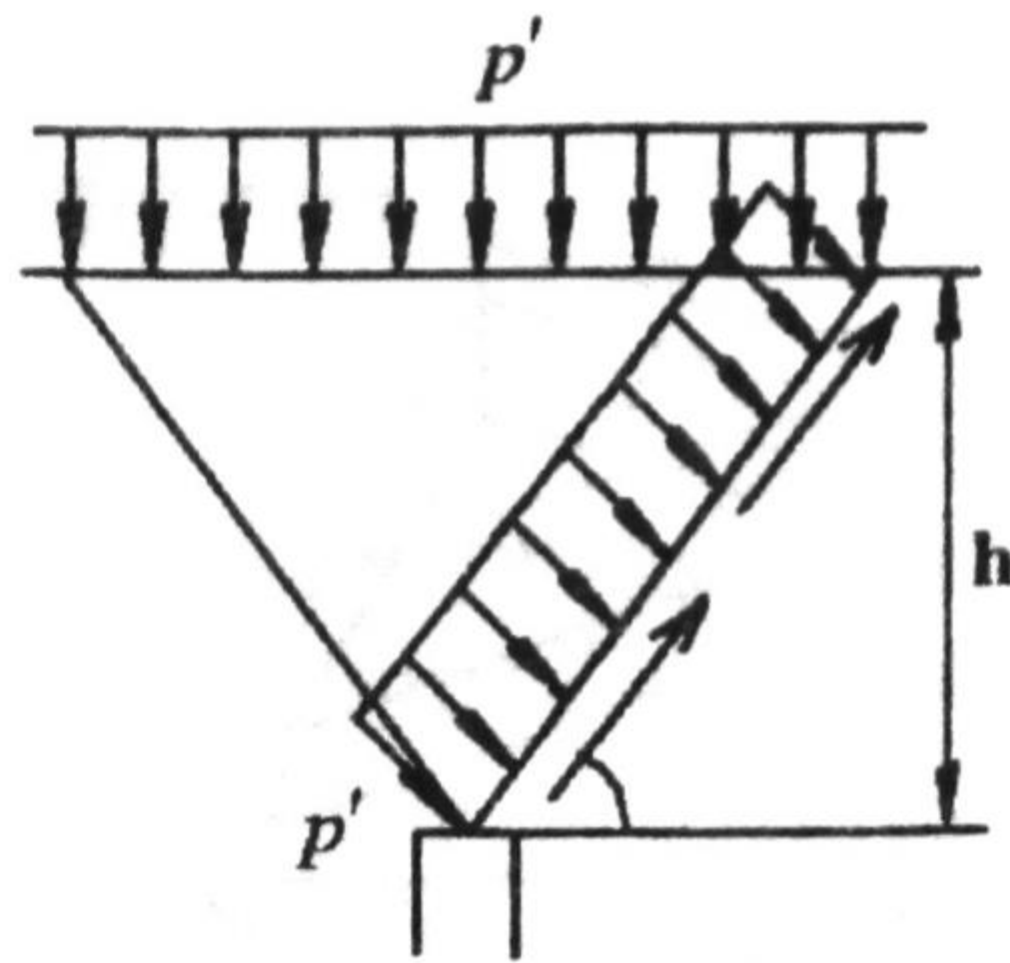


Рис. 2. Схема действия нагрузки на боковую грань

Эта зависимость представлена графиком (рис. 3) и хорошо аппроксимируется аналитическим выражением:

$$K = 0,88 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,48 \cdot \gamma^{2,36} + 1} \right)$$

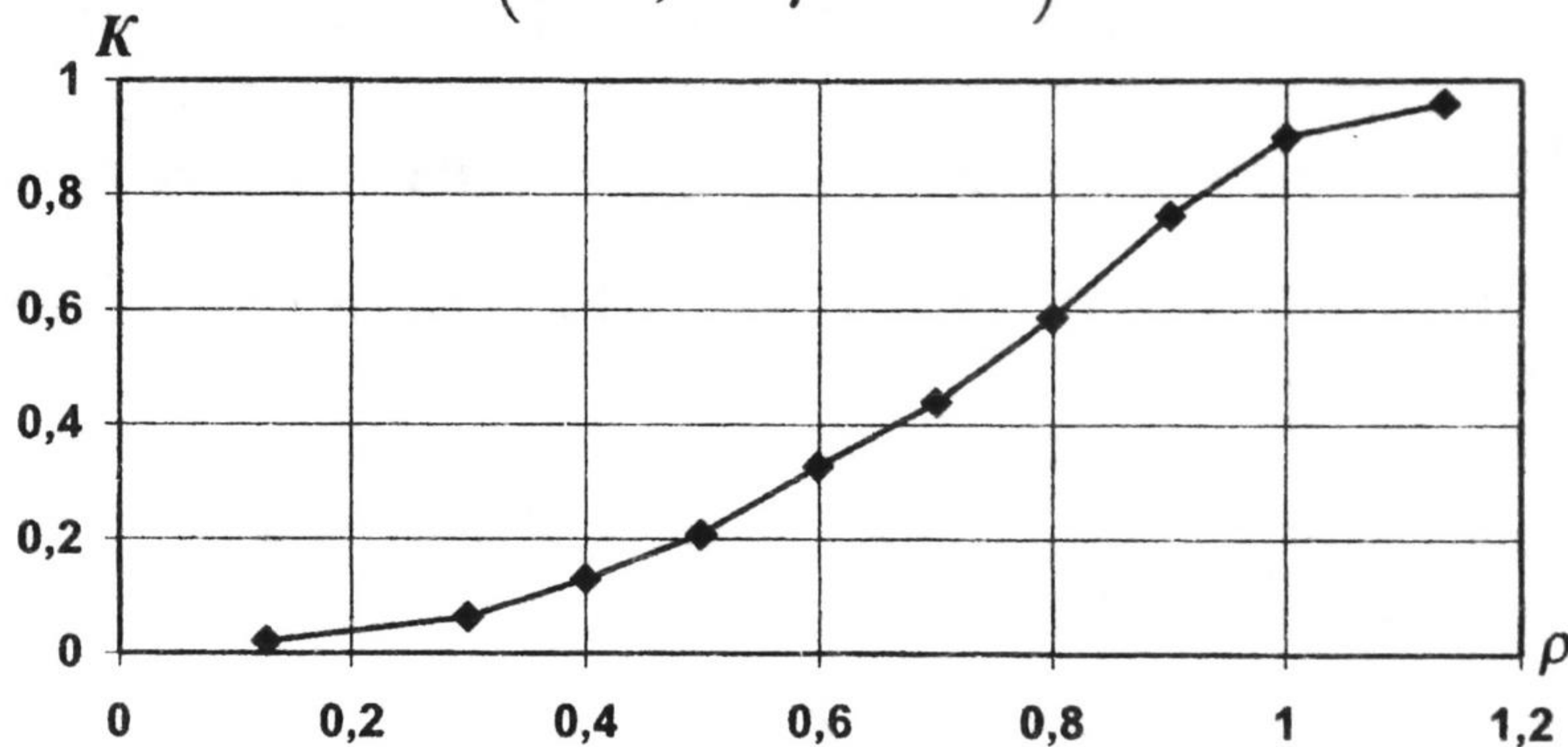


Рис. 3. График зависимости коэффициента снижения балочного момента от отношения высоты грани к ее длине для боковых граней железобетонных элементов

Подставляя в выражение для m_{np} выражения для p' и K и учитывая, что $\gamma = \frac{0,29 \cdot (1 - A)}{\cos \alpha}$, получим формулу:

$$m_{np} = 0,11 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,48 \left[\frac{0,29 \cdot (1 - A)}{\cos \alpha} \right]^{2,36} + 1} \right) \cdot \frac{P}{1 + K_{mp} \cdot \operatorname{tg} \alpha} \cdot a_1^2$$

В соответствии с формулами активная высота и коэффициент армирования для верхней и боковых плит составит для 3-х и 4-гранного элемента соответственно:

$$h_{0mp} = h_{0np} = \sqrt{2 \frac{m_{mp}}{R_{np}} \cdot \rho}$$

$$\mu = \frac{R_{np}}{R_a} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{\rho}} \right)$$

где R_{np} — призмная прочность бетона, Па;
 R_a — расчетное сопротивление арматуры, Па.
 ρ — безразмерный параметр, определяемый из выражения:

$$\rho = \max \left\{ \frac{1 + \alpha}{1 + 2\alpha}; \frac{1}{\xi_{np}(2 - \xi_{np})} \right\}$$

$\alpha = \frac{R_{np} C_a}{R_a C_b}$ — технико-экономический показатель;

ξ_{np} — предельная относительная высота сжатой зоны, определенная по СНиП, см;

C_a, C_b — стоимость 1 м³ бетона и 1 т. арматуры, руб. ;

При расчете сечения стяжного стержня следует рассмотреть равновесие боковой грани элемента при его повороте вокруг сопряжения верхней грани с боковой (рис. 4). Усилие в стержне, исходя из рассмотрения такого равновесия, вычисляется по формуле:

$$N_a = 0,083 \cdot a_1^2 \cdot P \cdot \operatorname{ctg} \alpha$$

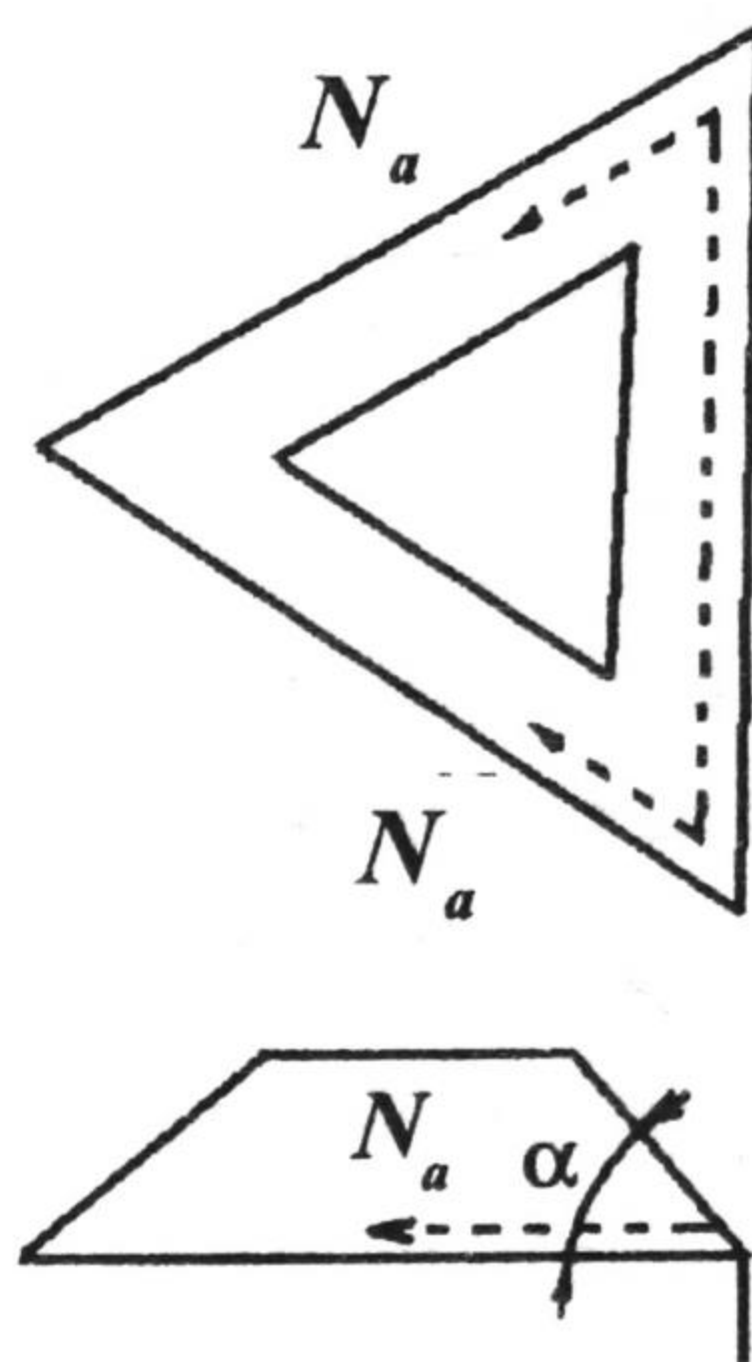


Рис. 4. Расчетная схема стяжного стержня

Принимая отношение $\frac{h}{h_0}$ постоянным и равным $\gamma = 1,4$, можно записать выражение для суммарной стоимости материалов одного элемента следующим образом:

$$C = C_b \cdot F_{\text{верх}} \cdot h_0^{np} \left(\gamma + \mu \cdot \frac{C_a}{C_b} \right) + C_b \cdot F_{\text{бок}} \cdot h_0^{np} \left(\gamma + \mu \cdot \frac{C_a}{C_b} \right) + 3 \cdot C_a \cdot \frac{N_a}{R_a} \cdot a_1$$

Подставим в полученную формулу выражения для h_0^{np} и h_0^{np} , $F_{\text{верх}}$ и $F_{\text{бок}}$, и, оптимизируя параметры α и A по минимуму стоимости C_{yd} при следующих значениях постоянных (в цифрах 1984 года), получим следующие результаты:

$$R_{np} = 0,9 \text{ МПа}; R_a = 210 \text{ МПа}; C_b = 120 \text{ руб/м}^3; C_a = 1420 \text{ руб/м}^3;$$

$$\alpha = \frac{90 \cdot 1420}{2100 \cdot 120} = 0,507$$

$$\rho = \max \left\{ \frac{(1 + \alpha)^2}{1 + 2\alpha} = 1,13; \frac{1}{\xi_{\text{пр}}(2 - \xi_{\text{пр}})} = 1,12 \right\} = 1,13$$

$$\xi_{\text{пр}} = 1 - \sqrt{1 - \frac{1}{1,13}} = 0,661 \quad \mu = \frac{90}{2100} \cdot 0,661 = 0,0285$$

После подстановки числовых значений и некоторых преобразований получаем выражение для удельной стоимости (на единицу площади) сборных элементов

$$C_{\text{уд}} = 0,42C_0 \cdot a_1 \sqrt{\frac{P \cdot \rho}{R_{\text{пр}}}} \left[2,6 \cdot q \cdot (1 - A)^{1,18} \cdot (1 - A^2) + A^2 + 0,068\sqrt{P} \cdot \text{ctg}\alpha \right]$$

$$\text{где } q = 0,282 \left(\frac{1}{\cos \alpha} \right)^{2,18} \left(\frac{1}{1 + 0,5 \cdot \text{tg} \alpha} \right)^{0,5}$$

Приближенно заменяем $(1 - A)^{1,18}$ на $(1 - A)$, дифференцируем $C_{\text{уд}}$ по A и приравняв нулю производную, получим выражение для оптимального A в зависимости от q :

$$A = \left(\frac{0,127}{q} - \frac{1}{3} \right) + \sqrt{\left(\frac{0,127}{q} - \frac{1}{3} \right)^2 + \frac{1}{3}}$$

Для оптимизации параметра вычислим значение при следующих значениях α : 0° ; 15° ; 30° ; 45° ; 60° ; 75° — подставляя вместо независимого A его оптимальное значение из предыдущей формулы. Вычисления сводим в таблицу (табл. 1), где обозначена удельная стоимость железобетона плитграней, C_2 — удельная стоимость стержня.

Таблица 1

| α | | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° |
|--------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $\text{ctg}\alpha$ | | ∞ | 3,73 | 1,73 | 1,0 | 0,58 | 0,268 |
| q | | 0,282 | 0,288 | 0,343 | 0,491 | 0,931 | 3,2 |
| A | | 0,47 | 0,48 | 0,54 | 0,65 | 0,80 | 0,94 |
| руб/м ² | $p = 0,09$ | 6,90 | 7,15 | 7,85 | 9,20 | 10,0 | 12,70 |
| C_1 | $p = 0,12$ | 8,0 | 8,25 | 9,10 | 10,60 | 12,7 | 14,7 |
| | $p = 0,15$ | 8,95 | 9,25 | 10,1 | 11,8 | 14,2 | 16,4 |
| руб/м ² | $p = 0,09$ | ∞ | 3,22 | 1,48 | 0,86 | 0,50 | 0,23 |
| C_2 | $p = 0,12$ | ∞ | 3,45 | 2,02 | 1,20 | 0,67 | 0,31 |
| | $p = 0,15$ | ∞ | 5,35 | 2,48 | 1,45 | 0,83 | 0,38 |
| руб/м ² | $p = 0,09$ | ∞ | 10,37 | 9,33 | 10,06 | 11,50 | 12,93 |
| C_0 | $p = 0,12$ | ∞ | 12,60 | 11,12 | 11,80 | 13,37 | 15,01 |
| | $p = 0,15$ | ∞ | 14,60 | 12,58 | 13,25 | 15,03 | 16,78 |

$$a_1 = 250 \text{ см.}$$

Как видно из построенных графиков (рис. 5), минимум удельной стоимости при значениях P , близких к 1,2 кН, достигается при значениях $\alpha = 33^\circ$.

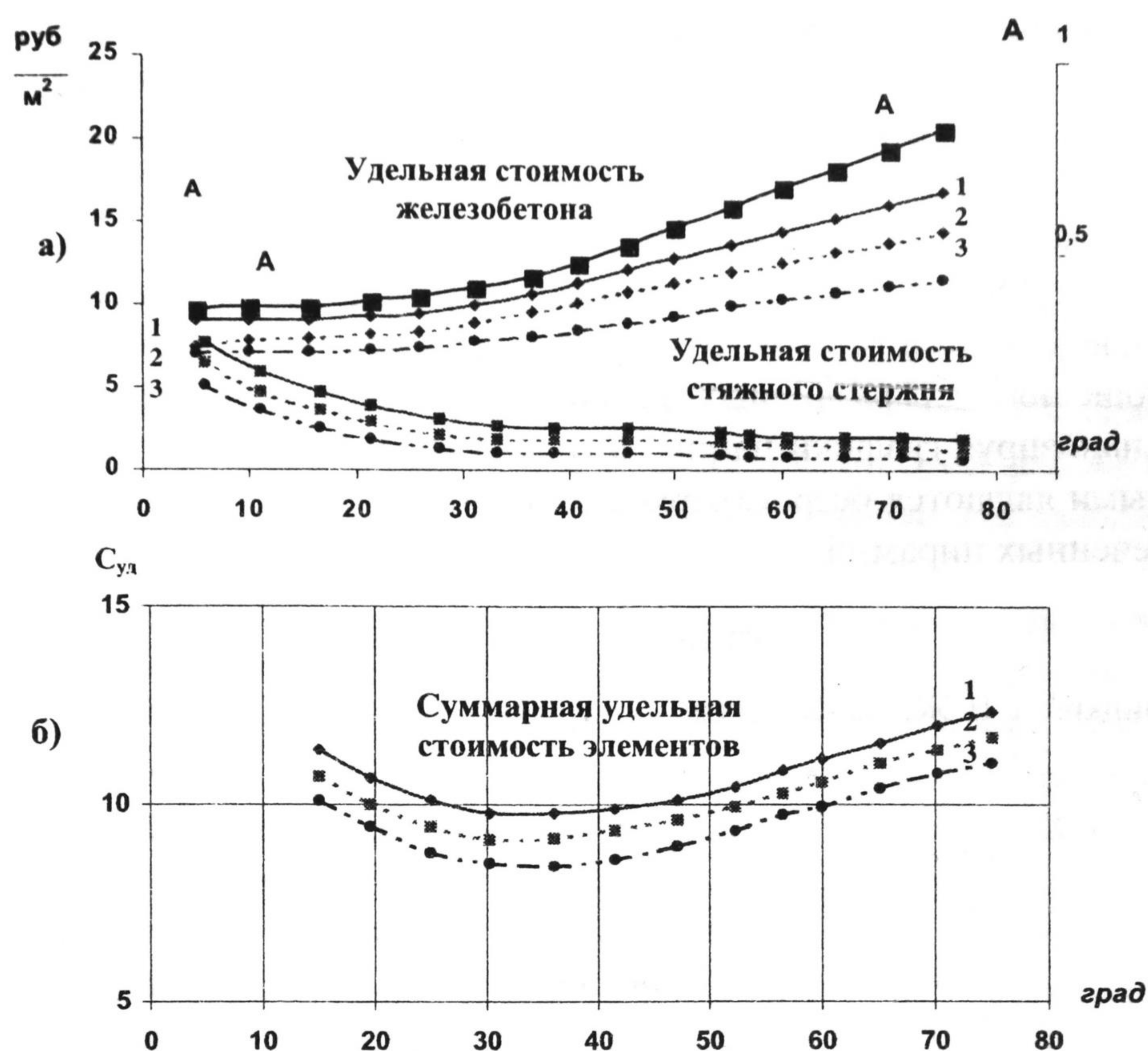


Рис. 5. График зависимости удельной стоимости железобетона, стяжного бетона и оптимального значения стороны меньшего основания в зависимости от угла наклона грани 1) $p = 1,5$; 2) $p = 1,2$; 3) $p = 0,9$

Следовательно, оптимальными значениями α и A при любых значениях в окрестности точки $P = 0,12$ МПа будут $\alpha = 330$ и $A = 0,56$. При этом достигается минимальная стоимость единицы площади железобетонных сборных элементов.

Следует заметить, при подборе железобетонного элемента не рассматривались нормальные сжимающие напряжения в поперечном сечении, так называемый распор. Можно проследить изменение объема бетона верхней плиты, определенного с учетом и без учета сжимающих напряжений. Результаты расчетов отражены на рис. 6.

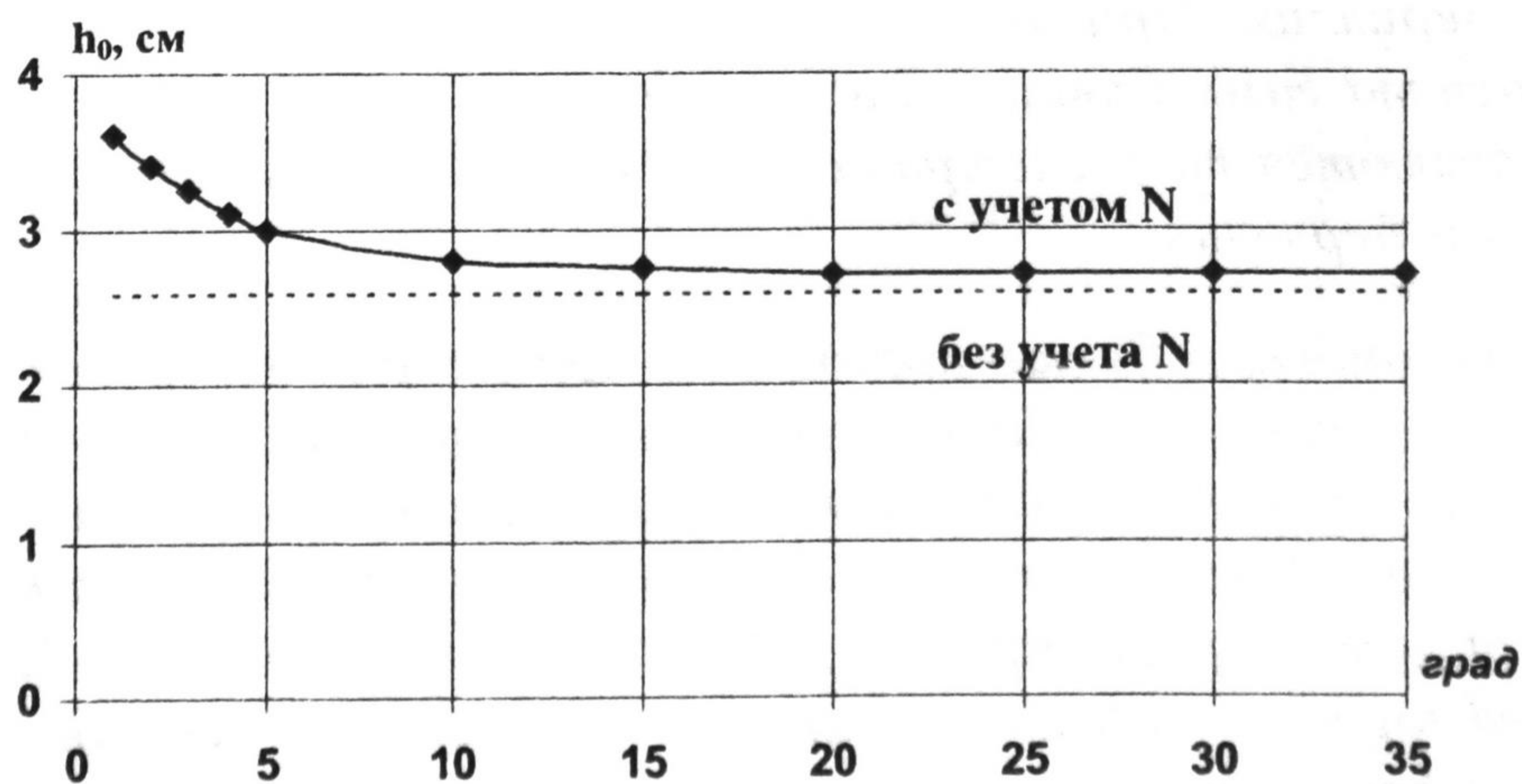


Рис. 6. График зависимости расхода железобетона от угла наклона граней с учетом и без учета сжимающих напряжений

Как видно из графика, активная высота h_0 верхней плиты сколько-нибудь заметно начинает отличаться от h_0 , определенного без учета N , при значениях $\alpha < 100$, т. е. тогда, когда объем бетона в стоимости ростверка, по сравнению со стоимостью стяжного стержня, не играет уже решающей роли. По результатам числовых расчетов построены графики зависимостей удельной стоимости железобетонных граней от удельной стоимости арматурного стяжного стержня и полной удельной стоимости элемента от угла наклона грани при оптимальном значении отношения A для различных значений рабочего давления (рис. 5 б).

Анализируя графики на рис. 6 можно сделать вывод, что наиболее экономичными являются безростверковые основания из коробчатых элементов в виде усеченных пирамид.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Улицкий А. Н. Железобетонные конструкции. К., Будівельник, 1958. С. 458

Виктор Иванович БОЧЕНИН —
профессор кафедры энергетики и
технологии металлов Курганского
государственного университета

Виктор Александрович КУЛИКОВ —
доцент кафедры физики
Курганского государственного
университета, к. физ.-мат. н.

УДК 620.179.5.531.75

ФОТОНЕЙТРОННЫЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН В МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ

АННОТАЦИЯ. Предлагается возможность применимости фотонейтронного неразрушающего способа контроля глубины и ширины раскрытия трещин. Физическая сущность его заключается в нанесении на контролируруемую поверхность проникающей жидкости, содержащей окись бериллия. При облучении поверхностного слоя с проникающей жидкостью гамма-квантами радиоизотопа Sb^{124} (сурьма-124) трещины выявляются по регистрации потока нейтронов, испускаемых атомами окиси бериллия.

The authors offer an approach to apply a photoneutron non-destructive way of the depth and width of crack disclosing. The physical essence of it consists in applying a penetrating liquid containing beryllium oxide upon a controllable surface. At an irradiation of a superficial layer with a penetrating liquid of gamma-quantums of a radioisotope Sb^{124} (antimony-124) cracks are revealed together with the registration of a neutrons' flow that is let out by atoms of beryllium oxide.

В процессе эксплуатации магистральных газопроводов в местах с концентраторами напряжений (сварные швы, изгибы, вмятины) возникает коррози-