

УДК 624.012

ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА И ПРОДОЛЬНОЙ СИЛЫ.

Сорока Н.Н. (Одесса)

Изложена методика построения области прочности железобетонного сечения с учетом реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры. Приведены примеры построения областей прочности для сечений с симметричным и несимметричным армированием.

При определении несущей способности железобетонных конструкций одной из проблем является проблема формирования условий прочности сечения. В наиболее общем виде условия прочности для железобетонных конструкций, находящихся в условиях трехосного напряженного

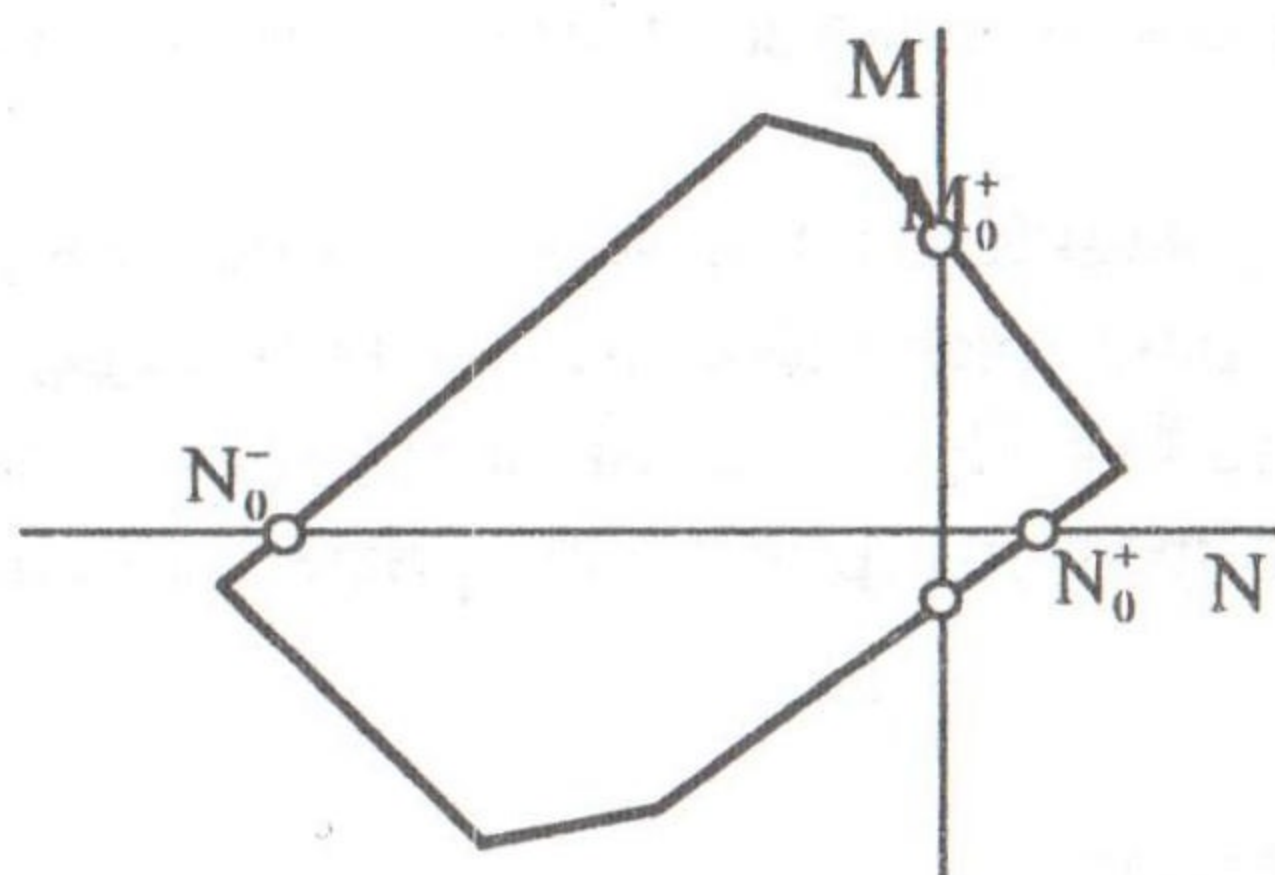


Рис. 1

состояния, сформулированы в [1].

Область прочности железобетонного несимметрично армированного сечения при действии изгибающего момента и продольной силы, построенная на основании существующих норм проектирования, приведена в [2] (рис. 1). Область ограничена шестью прямыми, и для описания ее предложены шесть линейных неравенств вида

$$a_{iM}M + a_{iN}N + a_i \geq 0 \quad (i=1, \dots, 6).$$

Для построения области прочности железобетонного сечения при действии изгибающего момента и продольной силы с учетом реальных диаграмм деформирования материалов принимаем модель деформирования бетона и арматуры согласно [3].

Систему уравнений равновесия для нормального сечения, условно разбитого на малые участки и имеющего вертикальную ось симметрии, записываем в виде

$$\begin{aligned} M_y &= \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Z_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Z_{syj}; \\ N_x &= \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj}, \end{aligned} \quad (1)$$

где M_y , N_x - изгибающий момент и продольная сила в рассматриваемом сечении; A_{bi} , Z_{byi} - площадь и координата i -го элементарного участка бетона, на которые сечение условно разбивается для организации процедуры численного интегрирования эпюры напряжений; A_{sj} , Z_{syj} - площадь и координата j -го арматурного стержня; σ_{bi} , σ_{sj} - средние напряжения в пределах i -го элементарного участка бетона и напряжения в j -ом стержне арматуры; устанавливаются на основе связи между напряжениями и относительными деформациями

$$\begin{aligned}\sigma_{bi} &= E_{bi}^0 v_{bi} \varepsilon_{bi} \\ \sigma_{sj} &= E_{sj}^0 v_{sj} \varepsilon_{sj}\end{aligned}\quad (2)$$

E_b^0, E_s^0 - начальные модули деформаций бетона и арматуры;
 v_{bi}, v_{sj} - коэффициенты изменения секущего модуля деформаций бетона и арматуры; $\varepsilon_{bi}, \varepsilon_{sj}$ - относительные деформации в пределах i -го элементарного участка бетона и j -го стержня арматуры;

$$\begin{aligned}\varepsilon_{bi} &= \varepsilon_{0x} + k_y Z_{byi} \\ \varepsilon_{sj} &= \varepsilon_{0x} + k_y Z_{syj}\end{aligned}\quad (3)$$

ε_{0x} - продольные осевые деформации; k_y - кривизна элемента в плоскости действия изгибающего момента.

Если координаты Z_{byi} и Z_{syj} отсчитывать от центра изгиба сечения, то общая система физических соотношений на основании зависимостей (1) - (3) может быть записана в виде

$$\begin{Bmatrix} M_y \\ N_x \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & 0 \\ 0 & D_{22} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} k_y \\ \varepsilon_{0x} \end{Bmatrix}\quad (4)$$

где D_{ii} ($i = 1, 2$) - элементы матрицы жесткости нормального сечения

$$\begin{aligned}D_{11} &= \sum_i A_{bi} Z_{byi}^2 E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{syj}^2 E_{sj} v_{sj} \\ D_{22} &= \sum_i A_{bi} E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} E_{sj} v_{sj}\end{aligned}\quad (5)$$

Коэффициенты изменения секущего модуля деформаций бетона и арматуры вычисляются по единой для бетона, высокопрочной арматуры и арматуры с физической площадкой текучести зависимости

$$v_m = \hat{v}_m \pm (v_{0m} - \hat{v}_m) \sqrt{1 - \omega_1 \eta - \omega_2 \eta^2},\quad (6)$$

где индекс $m = b, bt$ - для бетона, соответственно, при сжатии и растяжении; $m = s$, - для арматуры; \hat{v}_0, \hat{v} - значения коэффициента v в начале и в вершине диаграммы; η - уровень напряжений; ω_1, ω_2 - коэффициенты, характеризующие полноту диаграммы материала.

Параметры зависимости (6) вычисляются с учетом полных диаграмм деформирования бетона и арматуры (включая нисходящую ветвь для бетона и стадию упрочнения для арматуры).

Расчет сечения производится итерационным способом с определением секущих модулей через деформации. За предельную нагрузку принимается максимальное значение вектора внешних сил (изгибающего момента и продольной силы), при котором система уравнений (4) имеет решение.

Область прочности железобетонного сечения, построенная с помощью зависимостей (1)-(6), представлены на рис. 2.

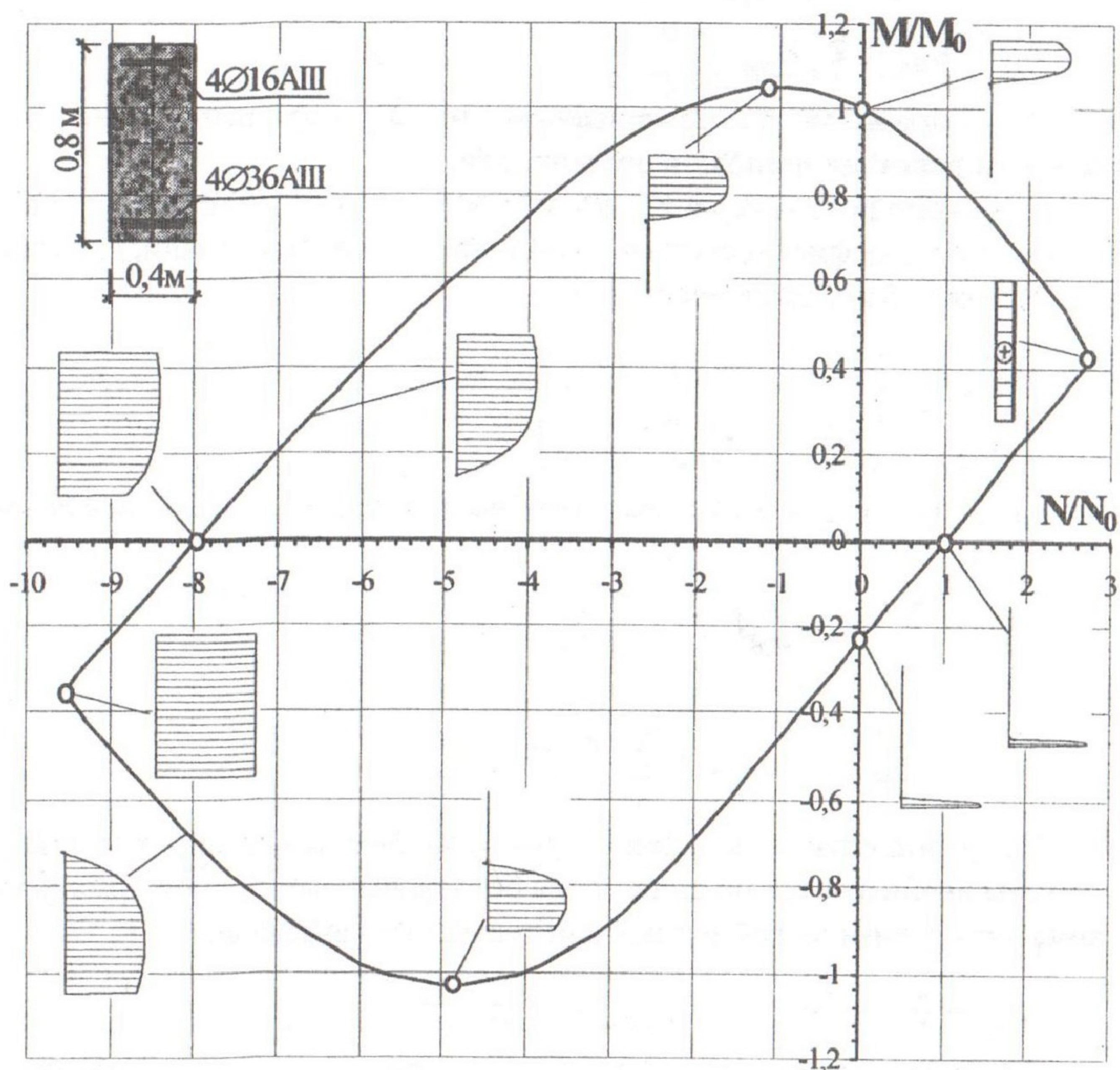


Рис. 2. Область прочности несимметрично армированного железобетонного сечения и предельные эпюры напряжений в бетоне.

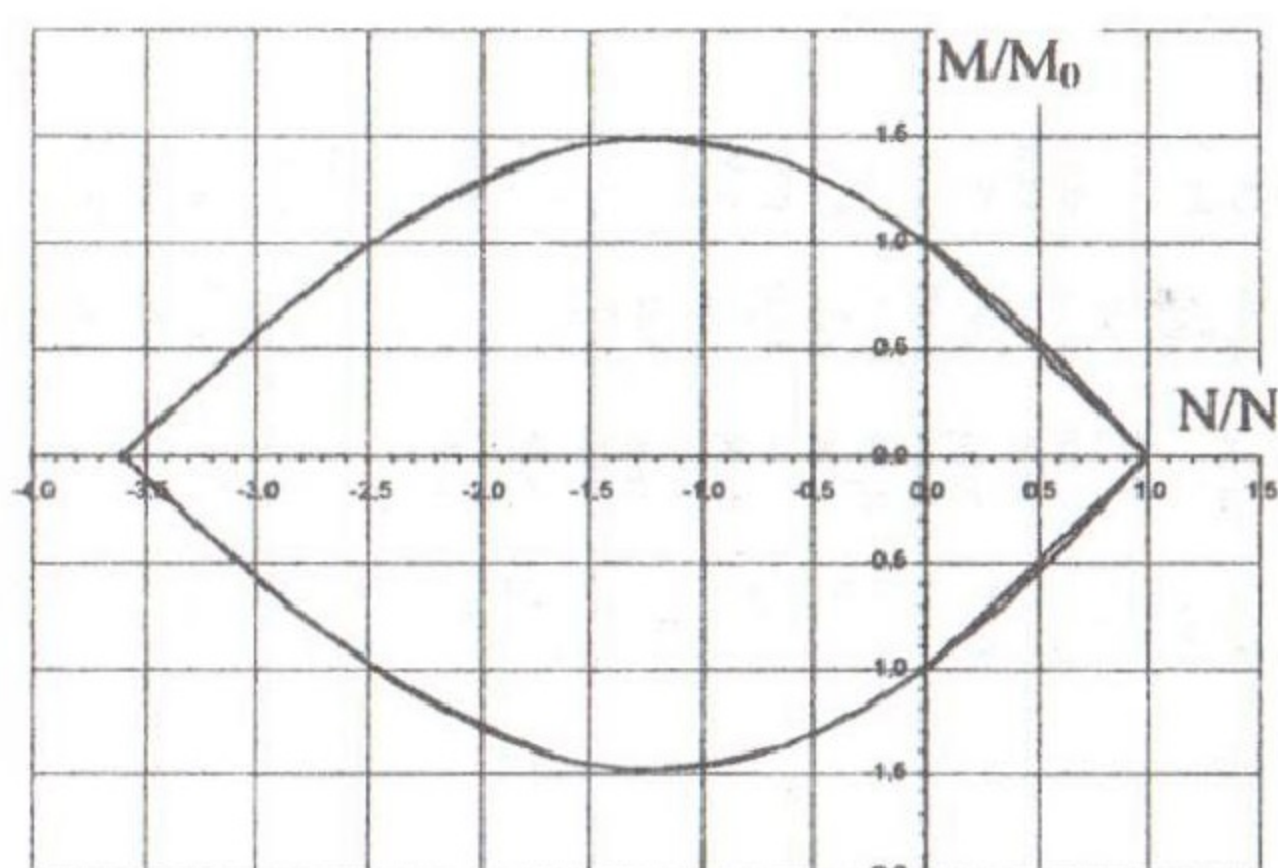


Рис. 3.

Здесь M и N – изгибающий момент и продольная сила, действующие относительно геометрического центра сечения. $M_0 = M_0^+$ и – предельный момент и предельная продольная сила (см. обозначения на рис. 1). Судя по характеру изменения предельных эпюр напряжений в

бетоне, центральное растяжение и центральное сжатие сечения реализуется только при наличии некоторых значений изгибающих моментов, приложенных к сечению (крайние левая и правая точки на рис. 2).

При симметричном армировании железобетонного сечения область прочности симметрична относительно оси N (рис. 3).

Как видно из рисунков область прочности имеет существенно криволинейное очертание. Для расчета несущей способности железобетонных рам такую область прочности удобно описывать с помощью двух нелинейных неравенств вида

$$\sum_{i=0}^n a_i N^i - M \geq 0 \quad (7)$$

Расчеты показали, что достаточно хорошо области прочности описываются выражениями (7) при $n = 3 \div 5$.

Литература

1. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.:Стройиздат, 1974. – 191с.
2. Проценко А.М., Власов В.В. Применение линейного программирования к расчетам статически неопределимых железобетонных конструкций в стадии предельного равновесия. // Бетон и железобетон, 1969, № 6.
3. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Петров А.Н. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры. // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций. М.: НИИЖБ, 1986. – С. 7-25.