

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

К. М. ХУБЕРЯН

ОБЛАСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЛИШНИХ НЕИЗВЕСТНЫХ
ДЛЯ ОДНОКРАТНО СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ФЕРМ
ПРИ РАСЧЕТЕ НА НАГРУЗКУ И НЕРАВНОМЕРНЫЕ
ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

§ 1. Общая постановка задачи и метод ее решения

При расчете статически неопределимой фермы методом напряжений* в зависимости от назначаемых величин лишних неизвестных либо удается успешно довести расчет до конца, либо выясняется, что при данных величинах лишних неизвестных рассчитать ферму никаким образом невозможно (получаются отрицательные значения для площадей сечений стержней или неизбежны превышения допускаемых напряжений). Область всех тех значений лишних неизвестных, при которых расчет статически неопределимой фермы с условием превышения допускаемых напряжений при заданной ее схеме и заданных расчетных воздействиях выполнен, названа областью существования лишних неизвестных. Определение таких областей является одним из основных вопросов метода напряжений. Значение этого вопроса, по мнению автора, выходит за рамки метода напряжений, поскольку понятие о лишних неизвестных является коренным для всей строительной механики статически неопределимых стержневых систем.

Области существования лишних неизвестных для статически неопределимых ферм в случае расчета на единственное нагружение статической нагрузкой были исследованы в различной форме Ф. И. Сякусарчуком [2] и автором [3]**. В работе [2] рассмотрены фермы без начальных напряжений и фермы с начальными напряжениями. Указанные области в случаях расчета любых ферм на многие нагружения статическими нагрузками и в случаях расчета двухшарнирных распорных однократно статически неопределимых ферм на совместные действия статической нагрузки и равномерных изменений температуры были исследованы автором [3]. В практике проектирования встречаются случаи, когда статически неопределимые стальные фермы рассчитываются на неравномерные изменения температуры. Поэтому автор исследовал

* См., например, [1], § 10.7.

** Работа [3] позднее была представлена в качестве диссертации [4].

области существования лишних неизвестных и для таких случаев. В настоящей статье излагаются результаты этого исследования для любых однократно статически неопределимых ферм при их расчете на единственное нагружение статической нагрузкой и многие неравномерные температурные воздействия. Предварительно приводятся решения рассматриваемой задачи для двух частных случаев.

Для исследования областей существования лишних неизвестных применяется геометрический метод, впервые разработанный автором в Тбилисском научно-исследовательском институте сооружений и гидроэнергетики в 1940 г. Для этой цели применяется также преобразование канонических уравнений метода напряжений, названное модуляризацией [3].

Сущность указанного метода и его применение кратко состоит в следующем.

Если ферма с двумя лишними связями рассчитывается на единственное нагружение статической нагрузкой, то общезвестные выражения усилий в ее m условно необходимых стержнях

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \bar{S}_1 + \bar{S}_1 X_1 + \bar{S}_1 X_2 \\ S_2 &= \bar{S}_2 + \bar{S}_2 X_1 + \bar{S}_2 X_2 \\ &\dots \dots \dots \\ S_m &= \bar{S}_m + \bar{S}_m X_1 + \bar{S}_m X_2 \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

интерпретируются как уравнения плоскостей в системе прямоугольных координат X_1, X_2, S (ось S обслуживает все условно необходимые стержни). Рассматриваются следы этих плоскостей на координатной плоскости $X_1 X_2$. Многоугольник, содержащий только все замкнутые ячейки, образованные указанными сечениями, является областью существования лишних неизвестных X_1 и X_2 . Если ферма имеет много лишних связей, то приходится пользоваться некоторыми понятиями геометрии многомерного евклидова пространства. При переходе от двукратно статически неопределимой фермы к k -кратно статически неопределимой ферме с лишними неизвестными $X_1, X_2, \dots, X_k$, трехмерное пространство заменяется $k+1$ -мерным пространством с системой прямоугольных координат $X_1, X_2, \dots, X_k, S$; координатная плоскость $X_1 X_2$ заменяется k -мерной координатной гиперплоскостью $X_1 X_2 \dots X_k$; каждая из плоскостей, определяемых уравнениями (1.1), заменяется k -мерной гиперплоскостью, определяемой уравнением $S_i = \bar{S}_i + \bar{S}_i X_1 + \bar{S}_i X_2 + \dots + \bar{S}_i X_k$ и остающейся k -мерной координатной гиперплоскостью $X_1 X_2 \dots X_k$ след в виде $k-1$ -мерного линейного многообразия. Такие следы, полученные для всех условно необходимых стержней ($i = 1, 2, \dots, m$), как и в предыдущем случае, пересекаясь между собой, создадут ряд замкнутых и

незамкнутых "ячеек". Между рассматриваемым случаем и случаем, когда $k=2$, соблюдается аналогия: "многоугольник" на k -мерной координатной гиперплоскости $X_1, X_2, \dots, X_k$, содержащий только все замкнутые "ячейки", образованные указанными следами, является областью существования лишних неизвестных $X_1, X_2, \dots, X_k$. Доказательство этой теоремы дано в работе [3]. Метод многомерной геометрии является естественным и полезным в теории многократно статически неопределимых ферм, однако построения и приемы расчета, необходимые для решения конкретных задач отыскания областей существования лишних неизвестных в многомерном пространстве, пока несомненно мало разработаны.

Канонические уравнения метода напряжений для статически неопределимых ферм в случае расчета на единственное нагружение статической нагрузкой имеют вид

$$\sum_{i=1}^{l-m} a_{ji} z_i = 0; \quad (1.2)$$

$$j = 1, 2, \dots, k,$$

где a_{ji} — коэффициенты; $\bar{a}_{ji} = \bar{S}_i l_i$; $\bar{S}_i$ — усилие в стержне i основной статически определимой системы от сил $X_i = 1$, приложенных к разрезанной лишней связи j ; l_i — длина стержня i ; z_i — неизвестное напряжение в стержне i статически неопределимой фермы от нагрузки.

Порядок расчета по методу напряжений отличается тем, что, когда приступают к определению напряжений z_i при помощи уравнений (1.2), величины усилий S_i во всех стержнях статически неопределимой фермы известны.

В каждом из уравнений (1.2) напряжения z_i , отвечающие положительным усилиям S_i , оставляем без изменения, а напряжения z_i , отвечающие отрицательным усилиям S_i , умножаем на минус единицу.

В результате, поскольку знаки коэффициентов a_{ji} известны, для каждого из членов $\bar{a}_{ji} z_i$ получаем определенный знак. Сгруппировав положительные и отрицательные члены, получим так называемые модулярные уравнения:

$$\sum_{\text{полож. членов}} \bar{a}_{ji} z_i - \sum_{\text{отриц. членов}} \bar{a}_{ji} z_i = 0; \quad (1.3)$$

$$j = 1, 2, \dots, k,$$

где символы $\bar{a}_{ji}$, z_i выражают существенно положительные величины (модули).

Указанная модуляризация канонических уравнений имеет целью избавиться от необходимости следить при подборе напряжений z_i знак каждого напряжения со знаком соответствующего усилия S_i (в случае несовпадения этих знаков очевидно требуется перерасчет). Вместо

этого нужно помнить, что решениями уравнений (1.3) считаются только совокупности положительных корней λ_i . Модуляризация упрощает расчет ферм и исследование областей существования линейных неизвестных.

Пусть статически неопределимую ферму с одной лишней связью требуется рассчитать на единственное нагружение статической нагрузкой и n различных неравномерных температурных воздействии. Первое температурное воздействие состоит в том, что температура первого стержня изменилась на t_{11} градусов, температура второго стержня — на t_{12} градусов и т. д. Второе температурное воздействие состоит в том, что температура первого стержня изменилась на t_{21} градусов, температура второго стержня — на t_{22} градусов и т. д. Заданные температурные воздействия обозначим индексами $t_{11}, t_{12}, \dots, \dots, t_{n1}, \dots, t_{nn}$.

Вычислим величины сумм

$$\sum_{i=1}^{i=m} a_{1i} t_{1i}, \sum_{i=1}^{i=m} a_{2i} t_{2i}, \dots, \sum_{i=1}^{i=m} a_{ni} t_{ni}. \quad (1.4)$$

Изменим нумерацию температурных воздействий так, чтобы наименьшая из сумм отвечала первому температурному воздействию, а наибольшая из сумм — второму температурному воздействию. В общем случае наименьшая сумма будет отрицательной, а наибольшая сумма — положительной. Этот случай и будем иметь в виду.

Усилия, возникающие в лишней связи от температурных воздействий $t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}$, как известно, пропорциональны указанным суммам. Поэтому любая из величин $X_1, X_2, \dots, X_n$ окажется в интервале между величинами X_1 и X_n .

Усилие в стержне i статически неопределимой фермы от температурного воздействия t_{1i} , как известно, пропорционально усилию X_1 . Поэтому для каждого стержня i любое из его температурных усилий $S_{1i}, S_{2i}, \dots, S_{ni}$ окажется в интервале между его температурными усилиями S_{1i} и S_{ni} .

Следовательно, из заданных n температурных воздействий в расчете однократно статически неопределимой фермы достаточно учесть воздействие, отвечающее наименьшей из сумм (1.4), и воздействие, отвечающее наибольшей из этих сумм, т. е. первое и второе температурные воздействия.

Введем обозначения

$$\left. \begin{aligned} E\alpha \left| \sum_{i=1}^{i=m} a_i t_{1i} \right| &= \tau_1; \\ E\alpha \left| \sum_{i=1}^{i=m} a_i t_{2i} \right| &= \tau_2 \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

Канонические уравнения метода напряжений для однократно статически неопределимых ферм при расчете на два воздействия, а именно на статическую нагрузку в сочетании с каждым из первых двух температурных воздействий, примут вид

$$\sum_{i=1}^{i=m} \alpha_i \tau_i - \tau_1 = 0; \quad (1.6)$$

$$\sum_{i=1}^{i=m} \alpha_i \tau_i + \tau_2 = 0. \quad (1.7)$$

где α_i — напряжение в стержне i статически неопределимой фермы от сочетания статической нагрузки и первого температурного воздействия;

τ_i — напряжение в том же стержне от сочетания статической нагрузки и второго температурного воздействия.

§ 2. Случай расчета на сочетание статической нагрузки и первого неравномерного температурного воздействия

Усилия в статически неопределимой ферме от сочетания статической нагрузки и первого температурного воздействия, как известно, выражаются так:

$$\begin{aligned} S_i^{e_{12}} &= S_i^n + S_i^{e_{12}} X; \\ i &= 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \quad (2.1)$$

где S_i^n — усилия в основной статически определимой системе от статической нагрузки; X — усилие в лишней связи от сочетания статической нагрузки и первого температурного воздействия.

Следуя указанному геометрическому методу, найдем на оси X (рис. 1а) все нулевые точки (нулевой называется точка пересечения прямой, определяемой уравнением (2.1), с осью абсцисс; сама прямая на данном графике, называемом графиком усилий, не показана). Полагая, что все нулевые точки простые, т. е. через каждую из них проходит только одна некртая прямая. Однако дальнейшие рассуждения нетрудно повторить и при наличии кратных нулевых точек. Стержни фермы пронумерованы в том порядке, в каком расположены

нулевые точки. Вертикали, проведенные через нулевые точки, разбивают поле графика усилий (рис. 1а) на ряд зон. Каждой из них соответствует определенная картина знаков, т. е. определенная совокупность одновременно существующих знаков усилий во всех стержнях фермы при одной определенной статической нагрузке. Картины знаков пронумеруем цифрами I, II, ..., W. Каждую нулевую точку обозначим номе-

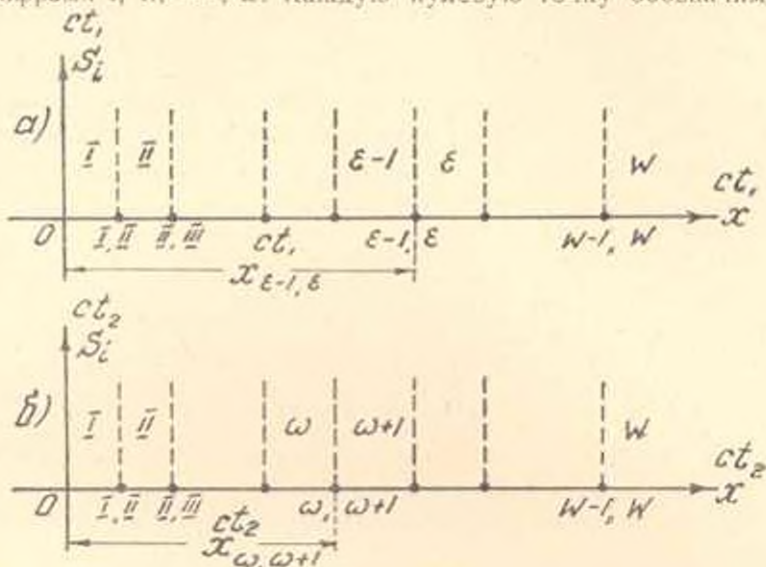


Рис. 1. К определению областей существования лишней неизвестной. а — нулевые точки на оси абсцисс графика усилий в случае сочетания нагрузки и первого температурного воздействия; б — повторение той же схемы в случае сочетания нагрузки и второго температурного воздействия.

рами двух картин знаков, границей между которыми они является.

Интервал $-\infty \leq X \leq X_{I,II}$ на оси X (рис. 1а) не принадлежит области существования лишней неизвестной X , так как модуляризация уравнения (1.6), выполненная для этого интервала, т. е. для картины знаков I, даст модулярное уравнение

$$\sum_{i=1}^{l-1} a_i \sigma_i - \tau_1 = 0. \quad (2.2)$$

В нем все члены имеют одинаковые знаки, и поэтому оно не имеет решения, при котором все корни σ_i положительны.

Рассмотрим следующий интервал на оси X , т. е. интервал $X_{I,II} < X < X_{II,III}$. При переходе в этот интервал, т. е. в картину знаков II, отрицательный член $a_1 \sigma_1$ в уравнении (2.2) станет положительным, а остальные члены сохранят свои знаки. Следова-

тельно, модулярное каноническое уравнение для рассматриваемого интервала имеет вид

$$a_1 z_1 - \sum_{i=1}^{l-m} a_i z_i - \tau_1 = 0. \quad (2.3)$$

Если при наибольшей величине z_1 , т. е. при $z_1 = R_1$ (R_1 — абсолютная величина допускаемого напряжения для стержня I при расчетном воздействии ct_1) $a_1 R_1 < \tau_1$, то уравнение (2.3) не имеет решения, при котором все корни положительны и не превышают соответствующих допускаемых величин. Следовательно, в этом случае рассматриваемый интервал не принадлежит области существования лишней неизвестной.

Если же $a_1 R_1 > \tau_1$, то уравнение (2.3) имеет решение, при котором все корни положительны и не превышают допускаемых величин. Следовательно, в этом случае рассматриваемый интервал принадлежит области существования лишней неизвестной.

Допустим, что имеет место первый случай. Тогда перейдем к интервалу $X_{II \text{ min}} < X < X_{II \text{ max}}$, для которого модулярное каноническое уравнение имеет вид

$$a_1 z_1 + a_2 z_2 - \sum_{i=1}^{l-m} a_i z_i - \tau_1 = 0. \quad (2.4)$$

Если $a_1 R_1 + a_2 R_2 < \tau_1$, то уравнение (2.4) не имеет решения, при котором все корни положительны и не превышают допускаемых величин. Следовательно, в этом случае рассматриваемый интервал не принадлежит области существования лишней неизвестной.

Если же $a_1 R_1 + a_2 R_2 > \tau_1$, то уравнение (2.4) имеет решение, при котором все корни положительны и не превышают допускаемых величин. Следовательно, в этом случае рассматриваемый интервал принадлежит области существования лишней неизвестной.

Если имеет место первый случай, то перейдем к следующему интервалу и т. д.

Предположим, что, продолжая обход интервалов на оси X слева направо в поисках интервала, принадлежащего области существования лишней неизвестной, мы дошли до последнего интервала

$$X_{n-1, \text{ min}} < X < \infty,$$

для которого модулярное каноническое уравнение имеет вид

$$\sum_{i=1}^{l-m} a_i z_i - \tau_1 = 0. \quad (2.5)$$

Если окажется, что

$$\varepsilon_1 > \sum_{j=1}^{i-m} a_j R_j^{ct_j} \quad (2.6)$$

(где все символы выражают модули), то это означает, что и для последнего интервала модулярное каноническое уравнение не имеет решения, при котором все корни положительны и не превышают допускаемых величин, и, следовательно, данную статически неопределимую ферму ни при каких размерах поперечных сечений невозможно рассчитать на сочетание заданной статической нагрузки и заданного температурного воздействия без превышения заданных допускаемых напряжений. Иначе говоря, при условии (2.6) область существования лишней неизвестной отсутствует.

Если же

$$\varepsilon_1 < \sum_{j=1}^{i-m} a_j R_j^{ct_j} \quad (2.7)$$

(где все символы выражают модули), то на графике усилий (рис. 1а) обязательно существует картина знаков ε , которая удовлетворяет условию

$$\sum_{j=1}^{i-k-2} a_j R_j^{ct_j} < \varepsilon_1 < \sum_{j=1}^{i-k-1} a_j R_j^{ct_j}, \quad (2.8)$$

где все символы выражают модули.

Таким образом, номером ε обозначена первая при движении по оси X слева направо картина знаков, при которой невозможность расчета фермы сменяется возможностью расчета. При следующих за ней картинах знаков $\varepsilon = -1, \varepsilon = 2$ и т. д. расчет фермы и подавно возможен.

Итак, доказана следующая *теорема 1*: если заданное неравномерное температурное воздействие, обозначенное индексом t_1 и отвечающее условию

$$\sum_{j=1}^{i-m} a_j t_{1j} < 0, \quad (2.9)$$

удовлетворяет условию (2.7), то область существования лишней неизвестной X^{ct_1} представляет собой такой интервал

$$X_{-1}^{ct_1} < X < \infty \quad (2.10)$$

на оси X графика усилий, граничная нулевая точка $\varepsilon = -1$, ε которого определяется условием (2.8).

§ 3. Случай расчета на сочетание статической нагрузки и второго неравномерного температурного воздействия

Усилия в стержне i статически неопределимой фермы и в лишней связи от сочетания статической нагрузки и второго температурного воздействия обозначим соответственно через $S_i^{ct_2}$ и X^{ct_2} .

Применив тот же метод, что и в предыдущем случае, но сделав обход интервалов на оси X графика усилий (рис. 1б, совпадающего с предыдущим графиком, в противоположном направлении, т. е. справа налево, и выполнив для каждого интервала модуляризацию уравнения (1.7), мы доказали следующие положения.

Если

$$\tau_2 > \sum_{i=1}^{i=m} a_i R_i^{ct_2} \quad (3.1)$$

(где все символы выражают модули), то область существования лишней неизвестной X отсутствует.

Теорема 2. Если заданное неравномерное температурное воздействие, обозначенное индексом t_2 , и отвечающее условию

$$\sum_{i=1}^{i=m} a_i t_{2i} > 0, \quad (3.2)$$

удовлетворяет условию

$$\tau_2 < \sum_{i=1}^{i=m} a_i R_i^{ct_2} \quad (3.3)$$

(где все символы выражают модули), то область существования лишней неизвестной X представляет собой такой интервал

$$-\infty < X \leq X_{\alpha, m-1}^{ct_2} \quad (3.4)$$

на оси X графика усилий, граничная нулевая точка $\alpha, m-1$ которого определяется условием

$$\sum_{i=\alpha, m-1}^{i=m} a_i R_i^{ct_2} < \tau_2 < \sum_{i=1}^{i=m} a_i R_i^{ct_2} \quad (3.5)$$

где все символы выражают модули.

§ 4. Случай расчета на сочетании статической нагрузки с каждым из двух неравномерных температурных воздействий

Этот случай расчета объединяет два ранее рассмотренных случая. Условия (2.7), (3.3) являются необходимыми условиями наличия двумерной области существования лишних неизвестных X, X . При-

мем ось X^{ct_1} (рис. 1а) за ось абсцисс, а ось X^{ct_2} (рис. 1б) за ось ординат. В такой прямоугольной системе координат (рис. 2) выделим вспомогательную бесконечную область в виде прямого угла (на рисунке она заштрихована), определяемую условиями (2.10), (3.4).

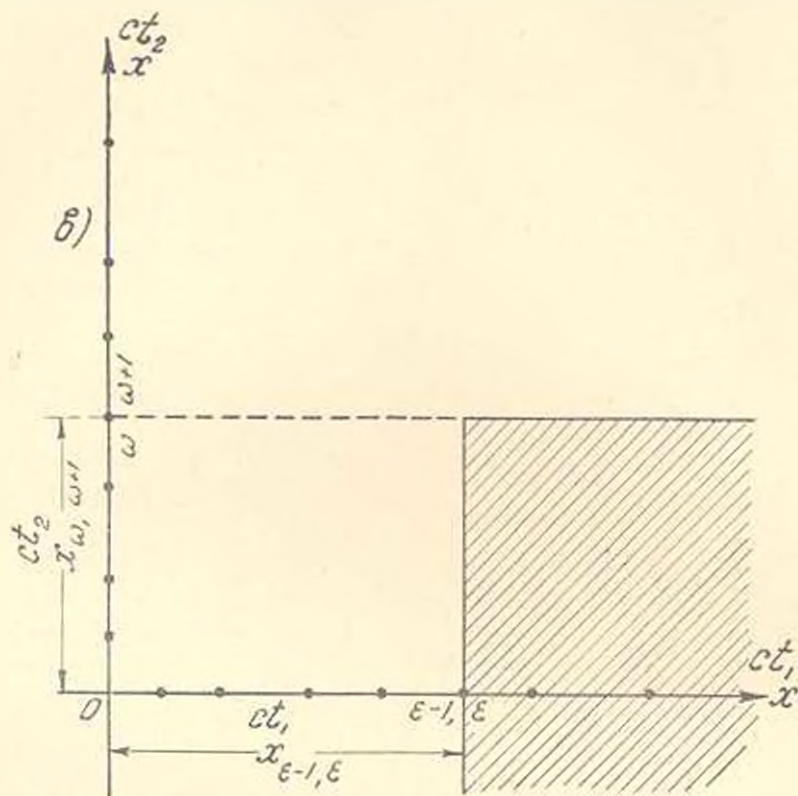


Рис. 2. Вспомогательная область и случаи расчета на сочетании нагрузки с каждым из двух температурных воздействий.

Для каждого стержня при обоих расчетных воздействиях должна получаться единственная площадь сечения. Следовательно, напряжения $\sigma_i^{ct_1}, \sigma_i^{ct_2}$, связаны соотношениями

$$\frac{\sigma_i^{ct_1}}{\sigma_i^{ct_2}} = \frac{S_i^{ct_1}}{S_i^{ct_2}}; \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (4.1)$$

которые превращают уравнения (1.6), (1.7) в систему уравнений.

Если модуляризировать уравнения (1.6), (1.7) для любой точки (X, X^{ct_i}) , расположенной вне указанной вспомогательной области, то, поскольку в такой точке нарушено по крайней мере одно из условий (2.10), (3.4), по крайней мере одно модулярное уравнение не будет

иметь решения, при котором все корни положительны и не превышают допускаемых величин. Система модулярных уравнений, содержащая такое уравнение, очевидно также не будет иметь решения, при котором все корни положительны и не превышают допускаемых величин. Таким образом, вне указанной вспомогательной области нет точек, принадлежащих области существования лишних неизвестных.

Если модуляризовать уравнения (1.6), (1.7) для любой точки (X, X) , расположенной внутри указанной вспомогательной области, то, поскольку в такой точке соблюдены оба условия (2.10), (3.4) каждое модулярное уравнение, взятое в отдельности, будет иметь решение, при котором все корни положительны и не превышают допускаемых величин. Это является необходимым, но не достаточным условием существования такого решения для системы модулярных уравнений (1.6), (1.7), (4.1). Следовательно, нельзя утверждать, что произвольная точка вспомогательной области обязательно принадлежит области существования лишних неизвестных. Однако, если заданные неравномерные температурные воздействия таковы, что величины τ_1, τ_2 достаточно малы, то расчет фермы на эти воздействия в сочетании со статической нагрузкой вообще возможен, и, следовательно, внутри вспомогательной области имеются точки, принадлежащие области существования лишних неизвестных.

Таким образом, доказана следующая *теорема 3*.

Если заданные неравномерные температурные воздействия таковы, что величины τ_1 и τ_2 достаточно малы, то область существования лишних неизвестных X и X имеется и целиком заключена внутри прямого угла, одной стороной которого является область существования X при расчете только на сочетание статической нагрузки с первым температурным воздействием, а другой стороной — область существования X при расчете только на сочетание статической нагрузки со вторым температурным воздействием.

Для каждого стержня i опасным будет либо усилие S_i^1 , либо усилие S_i^2 . Изменим нумерацию стержней, а именно тем, в которых опасные усилия, а, следовательно, и опасные напряжения возникают от сочетания нагрузки и первого температурного воздействия, дадим номера $1, 2, \dots, r$. Тогда тем стержням, в которых опасные усилия и опасные напряжения возникают от сочетания нагрузки и второго температурного воздействия, остается дать номера $r+1, r+2, \dots, m$.

Исключив из уравнений (1.6), (1.7) все неопасные напряжения (выразив каждое неопасное напряжение при помощи пропорции (4.1) через опасное напряжение) и подставив выражения усилий, получим уравнения

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^{i=r} a_i \frac{e_{t_1}}{S_i} + \sum_{i=r+1}^{i=m} a_i \frac{\frac{p}{S_i} + \frac{1}{S_i} \frac{e_{t_1}}{X}}{\frac{p}{S_i} + \frac{1}{S_i} \frac{e_{t_1}}{X}} \frac{e_{t_1}}{S_i} - \tau_1 = 0; \\ \sum_{i=1}^{i=r} a_i \frac{\frac{p}{S_i} + \frac{1}{S_i} \frac{e_{t_2}}{X}}{\frac{p}{S_i} + \frac{1}{S_i} \frac{e_{t_2}}{X}} \frac{e_{t_2}}{S_i} + \sum_{i=r+1}^{i=m} a_i \frac{e_{t_2}}{S_i} + \tau_2 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

В качестве независимых переменных вместо лишних неизвестных $\frac{e_{t_1}}{X}, \frac{e_{t_2}}{X}$ можно пользоваться лишними неизвестными $\frac{e}{X}, \frac{t_1}{X}$, которые, как известно, связаны с первыми следующими формулами:

$$\left. \begin{aligned} \frac{e_{t_1}}{X} &= \frac{e}{X} + \frac{t_1}{X}; \\ \frac{e_{t_2}}{X} &= \frac{e}{X} + \frac{\sum_{i=1}^{i=m} a_i t_{2i}}{\sum_{i=1}^{i=m} a_i t_{1i}} \frac{t_1}{X}. \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

Во вспомогательной области (рис. 2) выберем какую-нибудь прямую и на ней точку, для которой произведем модуляризацию уравнений (4.2) (сначала модуляризируем уравнения (1.6), (1.7), а при использовании пропорций (4.1) подразумеваем, что они содержат модули напряжений и усилий). С помощью приемов, рекомендованных в работе [3,4] (§ 7), выясним, имеет ли полученная система модулярных уравнений решение, при котором все корни (модули опасных напряжений) положительны и не превышают допускаемых величин. Если такого решения не существует, то выберем на той же прямой вторую точку, произведем для нее модуляризацию уравнений (4.2) и выясним, имеет ли полученная система модулярных уравнений удовлетворительное решение, и т. д. Затем обследуем таким же образом вторую прямую во вспомогательной области и т. д. В результате на каждой из некоторых прямых обнаружится граничная точка, в которой система модулярных канонических уравнений из системы, не имеющей решения, при котором все корни положительны и не превышают допускаемых величин, превращается в систему, имеющую такое решение. Соединив линией полученные граничные точки, тем самым определим область существования лишних неизвестных $\frac{e}{X}$ и $\frac{t_1}{X}$.

Изложенные результаты являются обобщением результатов, полученных в работе [3,4] (§§ 30, 31, 32) на однократно статически неопределимые фермы любых типов и на случаи любых неравномерных температурных воздействий.

Կ. Ի. ԿՈՒՐԵՐՅԱՆ

ԱՎԵՐՈՒՄ ԱՆՀԱՅՏՆԵՐԻ ԴՈՅՈՒԹՅԱՆ ՏԻՐՈՒԹՅՆԵՐԻ ՄԻԱՊԱՏԻԿ
ՈՍԱՏԻԿՈՐԵՆ ԱՆՈՐՈՇ ՖԵՐՄԱՆԵՐՈՒՄԻ ԲԵՌՆԱԿԱՌԻ ԵՎ ԱՆՀԱՎԱՐԱՐԱԾԱԿ
ՋԵՐՄԱՅՈՒՆ ԱՂԵԾՅՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ ՀԱՇՎԵԼԻՍ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ավարդ անհայտնիքն արժեքների տիրույթին վերաբերող լարումների մեթոդի հիմնական հարցը, արժեքի, որի տահմաններից դուրս տվյալ ստատիկոնն անորոշ ձողասխառնաբ, ձողերի ընդլայնական կարվածքների ցանկացած վերջավոր չափերի դեպքում, հնարավոր չէ հաշվել արված հաշվային աղեղնույթյունների տակ՝ առանց դերազանդելու թուլատրվող լարումների արված արժեքները, ուսումնասիրված է միապատիկ ստատիկոնն անորոշ ֆերմաների համար՝ երեք հաշվային դեպքի ժամանակ.

- ա) ստատիկոնն կիրառված բեռնվածքի և որոշակի պալմանի համապատասխանող անհավասարաչափ ջերմային աղեղնույթյուն տակ հաշվելիս,
- բ) ստատիկոնն կիրառված միևնույն բեռնվածքի և վերևում նշված պալմանին չհամապատասխանող անհավասարաչափ ջերմային աղեղնույթյուն տակ հաշվելիս,
- գ) ստատիկոնն կիրառված բեռնվածքի վերևում նշված երկու ջերմային աղեղնույթյուններից լուրաքանչյուրի հետ դուրսդրված հաշվելիս:

Լ Ի Տ Ե Ր Ա Տ Ր Ա

1. Рабинович И. М. Курс стропельной механики стержневых систем, ч. II, Госстройиздат, 1954.
2. Слесарчук Ф. И. О регулярном расчете статически неопределимых ферм методом заданных напряжений. „Труды Новосибирского института инженеров же ознодорозного транспорта“, вып. VIII, Трансжелориздат, 1952.
3. Хуберин К. М. Усовершенствованный метод расчета порталных ферм сегментных затворов. „Сборник докладов научно-исследовательских работ по строительству. Работы, выполненные в 1952 году“, Госстройиздат, I 51.
4. Хуберин К. М., Метод напряжений в применении к статически неопределимым фермам. Автореферат докторской диссертации, Московский инженерно-строительный институт, 1957.