

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

С. А. БАГДАСАРЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ  
СПОСОБНОСТИ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО  
СПЛАВА Д 16—Т\*

1. В 1961 году в Центральной испытательной лаборатории Армянского НИИ строительных материалов и сооружений было произведено испытание внецентренно сжатых стержней из алюминиевого сплава Д 16—Т. Испытания имели целью оценить степень соответствия действительной несущей способности элементов, работающих на внецентренное сжатие с расчетной, определяемой на основании [1] и сопоставление экспериментальных данных с результатами известных теоретических исследований [2], [3], [4].

В данной статье приводятся результаты исследования стержней прямоугольного сечения. В следующем сообщении будут опубликованы результаты исследования стержней II-образного, таврового и инвентерного сечений. Образцы были изготовлены из заводских брусьев прямоугольного сечения размерами 67,3 × 31,7 мм, полученных с Каменно-Уральского завода. Из брусьев были изготовлены также контрольные образцы в виде цилиндров диаметром 20 мм и высотой 60 мм для испытания на сжатие и полоски для испытания на растяжение. Торцы цилиндров были отшлифованы и перпендикулярность их к оси проверена угольником первого класса. С целью устранения возможности повреждения подушек пресса и лучшей центровки цилиндров между подушками и торцами контрольных образцов устанавливались специальные стальные прокладки в виде усеченных конусов с полированными торцами. Деформации цилиндров при сжатии определялись при помощи двух тензометров ТА—2 с базой 20 мм.

На рис. 1 показан цилиндр с прокладками и тензометрами во время испытания на сжатие.

Испытания цилиндров проводились на прецизионном гидравлическом прессе фирмы „Рейли“. Каждый цилиндр предварительно центрировался так, чтобы разность отсчетов по тензометрам при нагрузке до 0,5 от ориентировочного предела пропорциональности не превышала 5%. Нагрузка на образец давалась ступенями по 1000 кг до достижения предела пропорциональности и по 100—200 кг в области упруго-

\* Научный руководитель, проф. В. Пинадзян.

пластических деформаций. Отсчеты по тензомертам брались после стабилизации деформаций.

В табл. 1 приводятся результаты испытаний цилиндров из сплава Д16—Т на сжатие.

Физико-механические характеристики материала при растя-

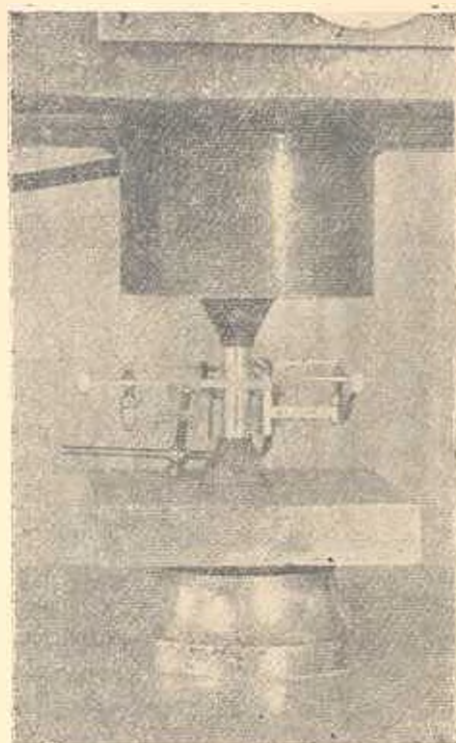


Рис. 1. Испытание цилиндра для определения диаграммы  $\sigma - \epsilon$  сжатия сплава Д16—Т.

жении определялись согласно ГОСТ 1497—61. Испытания этих образцов производились на гидрокпрессе ГМС—20. В табл. 2 приведены результаты испытаний полос из сплава Д16—Т на растяжение. Как видно из табл. 1 и 2, физико-механические характеристики всех контрольных образцов мало отличаются друг от друга, что свидетельствует об однородности материала в брусках. На рис. 2 представлены диаграммы  $\sigma - \epsilon$  сжатия и растяжения сплава Д16—Т, построенные по результатам испытаний. Модуль продольной упругости алюминиевого сплава Д16—Т, на основании результатов прямых измерений оказался в среднем равным: при сжатии  $E^c = 7,67 \text{ т/мм}^2$  с изменением этой величины от 7,60 до 7,71  $\text{т/мм}^2$ , при растяжении  $E^p = 7,72 \text{ т/мм}^2$  с изменением от 7,65 до 7,77  $\text{т/мм}^2$ . Условный предел текучести при остаточной деформации 0,2% оказался в среднем

равным: при сжатии  $\sigma_{0,2}^c = 42,5 \text{ кг/мм}^2$  с изменением этой величины от 41,0 до 45  $\text{кг/мм}^2$ , при растяжении  $\sigma_{0,2}^p = 45,4 \text{ кг/мм}^2$  с изменением от 44,8 до 46,1  $\text{кг/мм}^2$ .

Предел пропорциональности оказался равным при сжатии  $\sigma_p^c = 30,2 \text{ кг/мм}^2$  с изменением в пределах от 29,5 до 32,4  $\text{кг/мм}^2$  и при растяжении  $\sigma_p^p = 36,6 \text{ кг/мм}^2$  с отклонением в интервале от 35,0 до 38,0  $\text{кг/мм}^2$ .

Следует отметить, что как предел пропорциональности, так и условный предел текучести при растяжении оказались выше, чем при сжатии. Модуль упругости сплава Д16—Т при сжатии и растяжении можно считать практически одинаковым. Отношение  $\frac{\sigma_p^p}{\sigma_p^c}$  при сжатии

Таблица 1

Физико-механические характеристики образцов из сплава Д16—Т при испытании на сжатие

| №№<br>п п | Клеймо<br>образца | $\sigma_p$ кг/мм <sup>2</sup> | $\sigma_{0,2}$ кг/мм <sup>2</sup> | $E^p$ т/мм <sup>2</sup> | $\frac{\sigma_p}{\sigma_{0,2}}$ |
|-----------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 1         | 1—1С              | 31,0                          | 41,0                              | 7,70                    | 0,756                           |
| 2         | 1—2С              | 31,8                          | 41,2                              | 7,63                    | 0,713                           |
| 3         | 1—3С              | 31,3                          | 42,4                              | 7,65                    | 0,737                           |
| 4         | 2—1С              | 31,7                          | 41,0                              | 7,64                    | 0,721                           |
| 5         | 2—2С              | 30,0                          | 44,5                              | 7,70                    | 0,674                           |
| 6         | 2—3С              | 32,0                          | 41,0                              | 7,70                    | 0,781                           |
| 7         | 3—1С              | 30,5                          | 43,5                              | 7,63                    | 0,702                           |
| 8         | 3—2С              | 32,4                          | 43,3                              | 7,71                    | 0,748                           |
| 9         | 3—3С              | 30,2                          | 44,0                              | 7,60                    | 0,687                           |
| 10        | 4—1С              | 30,8                          | 42,0                              | 7,65                    | 0,767                           |
| 11        | 4—2С              | 29,5                          | 41,5                              | 7,68                    | 0,711                           |
| 12        | 4—3С              | 32,3                          | 42,1                              | 7,67                    | 0,768                           |
| 13        | 5—1С              | 31,4                          | 41,9                              | 7,67                    | 0,750                           |
| 14        | 5—2С              | 30,5                          | 42,2                              | 7,67                    | 0,723                           |
| 15        | 5—3С              | 32,3                          | 42,0                              | 7,65                    | 0,770                           |
| 16        | 6—1С              | 29,8                          | 45,0                              | 7,69                    | 0,663                           |
| 17        | 6—2С              | 29,0                          | 42,1                              | 7,70                    | 0,690                           |
| 18        | 6—3С              | 31,0                          | 41,4                              | 7,65                    | 0,750                           |
| средн.    |                   | 30,2                          | 42,5                              | 7,67                    | 0,711                           |

Таблица 2

Физико-механические характеристики образцов из сплава Д16—Т при испытании на растяжение

| №№<br>п п | Клеймо<br>образца | $\sigma_p$ кг/мм <sup>2</sup> | $\sigma_{0,2}$ кг/мм <sup>2</sup> | $E^p$ т/мм <sup>2</sup> | $\frac{\sigma_p}{\sigma_{0,2}}$ |
|-----------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 1         | 1—1Р              | 37,0                          | 45,6                              | 7,73                    | 0,811                           |
| 2         | 1—2Р              | 36,5                          | 46,0                              | 7,71                    | 0,794                           |
| 3         | 2—1Р              | 36,3                          | 45,4                              | 7,75                    | 0,800                           |
| 4         | 2—2Р              | 34,9                          | 44,9                              | 7,68                    | 0,777                           |
| 5         | 3—1Р              | 36,0                          | 45,0                              | 7,75                    | 0,843                           |
| 6         | 3—2Р              | 36,0                          | 45,9                              | 7,68                    | 0,785                           |
| 7         | 4—1Р              | 35,5                          | 45,5                              | 7,65                    | 0,781                           |
| 8         | 4—2Р              | 37,4                          | 45,7                              | 7,75                    | 0,819                           |
| 9         | 5—1Р              | 35,0                          | 46,1                              | 7,77                    | 0,760                           |
| 10        | 5—2Р              | 34,8                          | 45,4                              | 7,70                    | 0,855                           |
| 11        | 6—1Р              | 36,5                          | 44,8                              | 7,77                    | 0,815                           |
| 12        | 6—2Р              | 37,3                          | 45,0                              | 7,76                    | 0,830                           |
| средн.    |                   | 36,6                          | 45,4                              | 7,72                    | 0,806                           |

меньше, чем при растяжении, что указывает на наличие у диаграммы сжатия более развитой переходной кривой.

2. Программой данной серии предусматривалось испытание 18 образцов прямоугольного сечения с гибкостями 40, 60, 100 на внецентренное сжатие с относительными эксцентриситетами приложения нагрузки 0,5, 1 и 3. Торцы стержней были обработаны с точностью до 0,005 мм и перпендикулярность их к оси стержня проверена

угольником первого класса. Начальная кривизна образцов была менее 1/1000 их длины.

Для испытания образцов были использованы пожевые шарнирные приспособления, сконструированные инж. С. Г. Нонинским.

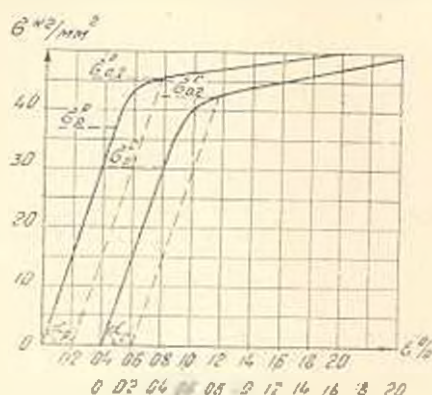


Рис. 2. Первичные диаграммы напряжение-деформация сплава Ц16-Т при растяжении и сжатии.

меров ПАО-6. Испытания образцов гибкостью 40 и 60 производились на гидравлическом прессе фирмы „Рейли“, а образцов гибкостью 100—на прессе ГМС-20, так как наибольшее расстояние между траверсами пресса „Рейли“ не позволяло установку образцов гибкостью 100.

На рис. 3 показан стержень во время испытания на внецентренное сжатие. В результате испытаний для каждого внецентренно-сжатого образца прямоугольного сечения из сплава Ц16-Т были определены следующие параметры: деформации наружных и внутренних волокон в середине и в четверти расчетной длины стержня; прогибы оси стержня в середине и четверти расчетной длины; укорочение стержня; критическая нагрузка.

Предварительно образец центрировался при нагрузке 0,25–0,3 от предполагаемой критической силы при помощи специальных устройств. Геометрическая ось образца считалась совпадающей с осью приложения силы, когда показания тензодатчиков сопротивления по всему сечению не отличались более чем на 5%. После центрировки образец при помощи микрометрических винтов и лимбов сдвигался на величину необходимого эксцентриситета. Нагрузка на образец давалась ступенями до 10% от предполагаемой критической силы до появления пластических деформаций. Следующие ступени приращений нагрузки составляли уже 4–6% от  $P_{кр}$ . Нагрузка измерялась силовыми измерителями прессов с точностью до 1%.

В табл. 3 приведены величины критических сил испытанных образцов.

На рис. 4 показан график относительных деформаций крайних волокон среднего сечения испытанных образцов гибкостью 40 в зави-

Каждая шарнирная головка была снабжена двумя микрометрическими винтами с лимбами, работающими в противоположных направлениях. Центрирующие устройства шарнирных головок позволяли осуществлять желаемый эксцентриситет приложения нагрузки с точностью до 0,01 мм. Деформации внецентренно сжатого стержня определялись при помощи датчиков сопротивления с базой 20 мм для сечений в середине и четверти пролета. Прогибы образца в середине и четверти длины, а также укорочение определялись при помощи прогибо-

сности от нагрузки. Чем меньше была гибкость стержня, тем большей величины достигали деформации в среднем сечении к моменту потери устойчивости.

С уменьшением гибкости и увеличением эксцентриситета было зафиксировано увеличение величины деформации в растянутой зоне

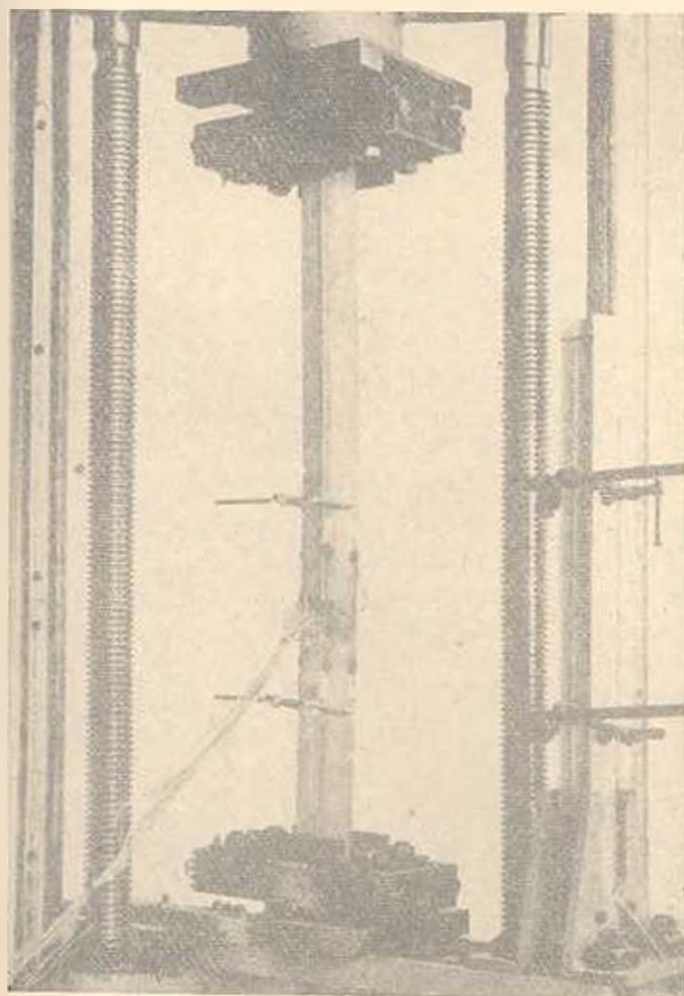


Рис. 3. Испытание стержня прямоугольного сечения на внецентренное сжатие.

сечения, хотя деформации растянутых волокон никогда не достигали величины деформации сжатых. Из сравнения графиков деформаций в середине и четверти одного и того же образца отмечено, что деформации в среднем сечении всегда были больше деформации в сечении четверти, и что в сжатых волокнах сечений середины и четверти всегда наступали пластические деформации. Пригибы образцов гибкостью 60 в зависимости от нагрузки представлены на рис. 5.

Здесь, как и следовало ожидать, с увеличением эксцентриситета приложения нагрузки и гибкости, выгибы внецентренно сжатого стержня возрастали.

Таблица 3

Результаты испытания внецентренно сжатых стержней прямоугольного сечения из сплава Д16—Т.

| № п/п | Класс образца | $\frac{I_p}{r_x}$ | $m = \frac{eF}{W_x}$ | $P_{кр}$<br>в кг | $\sigma_{кр}$<br>кг/мм <sup>2</sup> | $\varepsilon_{кр}$ | $\eta$ |
|-------|---------------|-------------------|----------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------|--------|
| 1     | 4—05—1        | 40,20             | 0,5                  | 47800            | 22,44                               | 0,569              |        |
| 2     | 4—05—2        | 40,20             | 0,5                  | 46900            | 22,02                               | 0,557              | 0,563  |
| 3     | 4—1—1         | 39,97             | 1,0                  | 38400            | 18,50                               | 0,468              |        |
| 4     | 4—1—2         | 40,04             | 1,0                  | 39900            | 18,73                               | 0,474              | 0,471  |
| 5     | 4—3—1         | 40,10             | 3,0                  | 24650            | 11,57                               | 0,293              |        |
| 6     | 4—3—2         | 40,25             | 3,0                  | 24300            | 11,41                               | 0,289              | 0,291  |
| 7     | 6—05—1        | 60,58             | 0,5                  | 31000            | 14,64                               | 0,371              |        |
| 8     | 6—05—2        | 60,13             | 0,5                  | 30650            | 14,39                               | 0,364              | 0,368  |
| 9     | 6—1—1         | 59,98             | 1,0                  | 26400            | 12,58                               | 0,319              |        |
| 10    | 6—1—2         | 60,20             | 1,0                  | 26600            | 12,53                               | 0,317              | 0,318  |
| 11    | 6—3—1         | 60,10             | 3,0                  | 17500            | 8,23                                | 0,206              |        |
| 12    | 6—3—2         | 59,95             | 3,0                  | 17800            | 8,36                                | 0,212              | 0,210  |
| 13    | 10—05—1       | 100,10            | 0,5                  | 14600            | 6,85                                | 0,174              |        |
| 14    | 10—05—2       | 100,10            | 0,5                  | 14500            | 6,80                                | 0,172              | 0,173  |
| 15    | 10—1—1        | 100,15            | 1,0                  | 12800            | 6,01                                | 0,152              |        |
| 16    | 10—1—2        | 100,13            | 1,0                  | 13100            | 6,16                                | 0,156              | 0,154  |
| 17    | 10—3—1        | 100,10            | 3,0                  | 10500            | 4,93                                | 0,124              |        |
| 18    | 10—3—2        | 100,10            | 3,0                  | 10300            | 4,83                                | 0,123              | 0,124  |

3. Экспериментальные данные исследований были сопоставлены с результатами расчета по СН 113—60 [1], а также с результатами расчета по методу предельных состояний [2].

Как известно, расчет внецентренно сжатых стержней по СН 113—60 основан на работах Вейнгольда [5], [6], в которых приняты следующие допущения: поперечные сечения во время деформации стержня остаются плоскими; прогибы по сравнению с длиной стержня малы; напряжения по сечению распределяются согласно диаграмме  $\sigma - \varepsilon$  материала; диаграмма  $\sigma - \varepsilon$  при сжатии идентична диаграмме  $\sigma - \varepsilon$  при растяжении; влияние сдвигающих

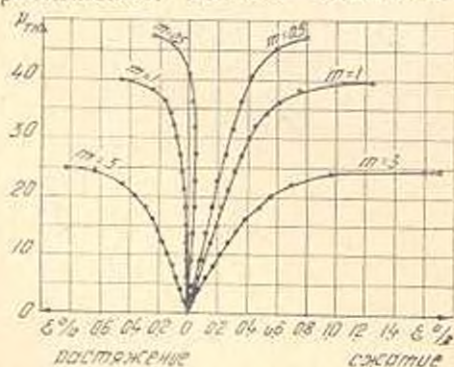


Рис. 4. Деформации крайних волокон среднего сечения стержней гибкостью 40.

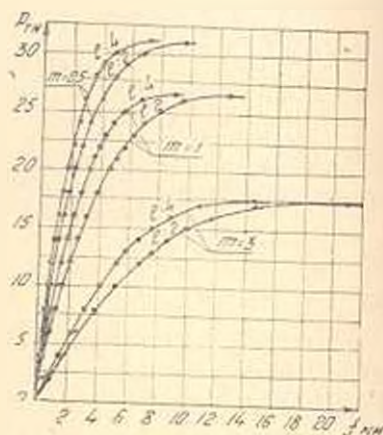


Рис. 5. Прогибы стержней гибкостью 60 в середине и четверти расчетной длины.

сил не учитывается: крутильные деформации в стержне отсутствуют. Зависимость между деформациями и напряжениями Вейнгольд при-

нимает в виде сложной экспоненциальной функции. За условный предел пропорциональности принимается  $0,5 \sigma_{0.2}$ .

По методу, предложенному [2], приняты те же допущения, однако зависимость между напряжениями и деформациями линеаризована и представлена в виде двух наклонных прямых. В связи с этим графо-аналитическое решение в [2] удается заменить аналитическим. При этом в случае правильной аппроксимации истинной диаграммы материала удастся получить более точные результаты.

На рис. 6 представлена действительная диаграмма алюминиевого сплава А16—Т, аппроксимированная кривая Вейнгольца и линеаризованная диаграмма, учитывающая упрочнение материала. Наклонные прямые в этом случае проведены так, чтобы  $F_1 = F_2$ .

На рис. 7 пунктирными линиями показаны графики коэффициентов  $\varphi$  внецентрично сжатых стержней из сплава А16—Т, вычисленные в соответствии с СН 113—60 и сплошными линиями, вычисленные на основании метода [2] с использованием линеаризованной диаграммы  $\sigma - \epsilon$ , представленной на рис. 6. Кружочками на графике показаны экспериментальные результаты. Из графика видно, что при расчете внецентрично сжатых стержней прямоугольного сечения гибкостью  $\lambda = 40 : 100$  из сплава А16—Т и относительными эксцентриситетами приложения нагрузки  $m \approx 0,5$  результаты предлагаемого метода расчета лучше согласуются с экспериментальными, чем данные, вычисленные по методике СН 113—60.

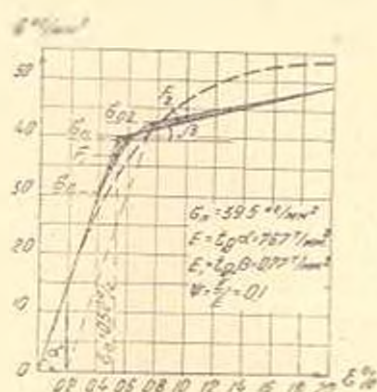


Рис. 6. Диаграммы сжатия сплава А16—Т: — действительная диаграмма сплава; — аппроксимированная кривая Вейнгольца; — диаграмма линеаризованная при помощи двух наклонных прямых.

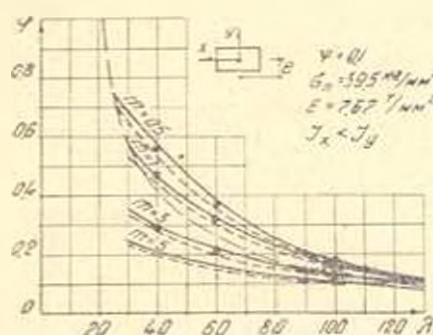


Рис. 7. Сравнение экспериментальных результатов с теоретическими.

Величины  $\varphi$ , вычисленные по СН 113—70, дают заниженные (до 10%) результаты по сравнению с экспериментальными данными и с предлагаемой методикой.

Арицкий ИИИ строительных материалов и сооружений

Получено 31.10.63

## ՈՒՂՎԱԿԱՆԱԿԱՆ Ա. Ա.

ԱՅՈՒՄԵՆԻ Բ 16—Դ ՀԱՄԱՅՈՒՆՎԱՅՐԷՅ ՊԱՏՐԱՍՏՎԱՆ ԱՊԱԿԵՆՏՐՈՆ  
ՈՆԿՎՈՐԱԾ ՎՈՂՆԵՐԻ ԿՐՈՂՈՐԵԱԿՈՐԵՑԱՆ ԷՐՈՊԵՐԻՄԵՆՏԱԿ ՀԵՏԱԳՈՏՈՒ -  
ԹՅՈՒՆՔ

## Ա. Ա Վ Ո Ղ Ն ՈՒ Մ

Սույն աշխատանքը նվիրված է ալյումինե՝ Ա 16—Դ համաձայնաբեր պատրաստված ուղղանկյուն համաձայն ունեցող ալյակենտրոն սեղմված ձողերի էքսպերիմենտալ հետազոտությանը, որ կատարված է Հայկական Շինարարական և կառուցվածքների դիտահետազոտական ինստիտուտի փորձարկումների կենտրոնական յարտադրարկայում: Նյութի սեղման և ձգման  $\sigma$ — $\epsilon$  իրական դիագրամների որոշման համար պատրաստված էին և փորձարկված հատուկ պրաններ և ձողաշերտեր: Ալյակենտրոն սեղման համար ձողանմուշները պատրաստված էին 40, 60 և 100 միլիմետրային և փորձարկվել են բեռի կիրառման 0,5, 1 և 3 հարաբերական ուղակենտրոնացմամբ: Ալյակենտրոն սեղման ձողերի փորձարկման արդյունքները բաղդատվել են հաշվարկային մեծությունների հետ, որոնք ստացվել են բառ СН 113—60-ի և բառ սահմանային վիճակի մեթոդի [3]:

Բաղադրման հիման վրա նշված է, որ էքսպերիմենտալ տվյալները ափսոսելի մաս են հաշվարկային մեծություններին, որոնք ստացվում են սահմանային վիճակի մեթոդից, բայց բառ СН 113—60-ի ստացված մեծություններին:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Технические условия проектирования конструкций из алюминиевых сплавов (СН 113—60). Гостройиздат, 1961.
2. Пилишжян В. В. Некоторые вопросы предельного состояния сжатых элементов стальных конструкций. Изд-во АН АрмССР, Ереван, 1956.
3. Геммерлинг А. В. Несущая способность стержневых стальных конструкций. Гостройиздат, 1958.
4. Стрелецкий И. С. Работа сжатых стоек. «Материалы к курсу стальных конструкций», вып. 2. Гостройиздат, 1959.
5. Weinholt I. Tragspannungen von Druckbiegestäben aus Aluminium. Aluminium, 1958, II 3, Düsseldorf.
6. Бройде Б. Н., Чувакин Г. М. Обоснование некоторых способов расчета на устойчивость в СН 113—60. Сб. ЦНИИСК «Строительные конструкции из алюминиевых сплавов», Гостройиздат, 1962.
7. Лейтес С. Л. Устойчивость сжатых стальных стержней. Гостройиздат, 1954.
8. Шелестенко А. И., Ингевич Ю. М. Исследование физико-механических свойств алюминиевых сплавов. II—Т. АМ—61, IIБ—А (1 к). Сб. ЦНИИСК «Строительные конструкции из алюминиевых сплавов» Гостройиздат, 1962.
9. Jezeq K. Die Festigkeit von Druckstäben aus Stahl. Wien, 1937.
10. Kollbrunner C. F. und Meister M. Kntcken. Berlin, 1955.