

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

С. А. БАГДАСАРЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ПРИ НЕОДНОАКОВЫХ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАХ ПРИЛОЖЕНИЯ НАГРУЗКИ\*

Статья является развитием [1], где автором дано приближенное аналитическое решение задачи несущей способности сжатых стержней при неодинаковых эксцентриситетах приложения нагрузки в предположении линейного упрочнения материала в упруго-пластической области.

Рассмотрим сжатый стержень с различными концевыми эксцентриситетами приложения нагрузки (рис. 1). Следуя К. Ежеку [2], примем, что несущая способность стержня длиной  $L$ , сжатого с эксцентри-

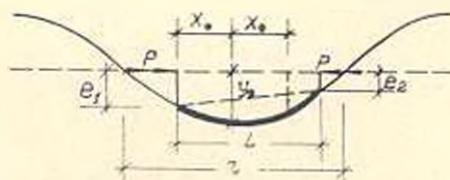


Рис. 1. Схема сжатого стержня при неодинаковых эксцентриситетах приложения нагрузки.

ситетами  $e_1$  и  $e_2$  такая же как у стержня с приведенной длиной  $L_{пр} = 2x_0$ , сжатого с равными эксцентриситетами  $e = e_1$  ( $|e_1| > |e_2|$ ).

Тогда, учитывая, что  $n = \frac{x_0}{L - x_0}$ , получим [1]:

$$2 \frac{x_0}{L} = 2 \frac{n}{n + 1}, \quad (1)$$

где  $x_0$  — расстояние от левой опоры (рис. 1) до сечения с максимальным изгибающим моментом.

С другой стороны известно [3], что

$$n = \frac{\pi R}{2 \arccos(e_1/e_2 \cos \pi/2)}$$

и поэтому выражение (1) можно представить в следующем виде:

\* Научный руководитель проф. В. В. Циналджян.

$$\delta = \frac{\bar{l}_{np}}{\bar{l}} = 2 \frac{x_0}{L} = 2 \frac{\pi k}{\pi k + 2 \arccos(e_2/e_1 \cos \pi k / 2)} \quad (2)$$

Здесь  $\bar{l} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\pi E}$ ,  $\bar{l}$  — относительная гибкость стержня длиной  $L$ ,

$\bar{l}_{np}$  — приведенная относительная гибкость стержня длиной  $L_{np}$ ,

$\delta$  — коэффициент, учитывающий несимметричность приложения продольных сил,

$r = \frac{\pi}{2}$  — длина полуволны изогнутой оси стержня.

$$r = \sqrt{P/EJ}, \quad k = \frac{2x_0}{r}$$

Для получения зависимости  $\delta - \bar{\lambda}$  необходимо иметь значения  $k$ , соответствующие определенным  $\bar{\lambda}$ . В качестве примера на рис. 2 показан график  $\delta - \bar{\lambda}$ , вычисленный по формуле (2) в соответствии с значениями  $k$ , полученными по методу [1] для  $e_2/e_1 = -0.5$ .

2. В Армянском НИИИ строительных материалов и сооружений с целью экспериментальной проверки результатов, полученных в [1], были проведены испытания 26 стержней прямоугольного сечения из алюминиевого сплава Д16—Т, сжатых с различными эксцентриситетами. Было испытано по 12 образцов гибкостью 60 и 100 и 2 образца гибкостью 40. Имея в виду, что влияние несимметричности приложения продольной нагрузки на несущую способность сжатых стержней в значительной степени проявляется при концевых эксцентриситетах

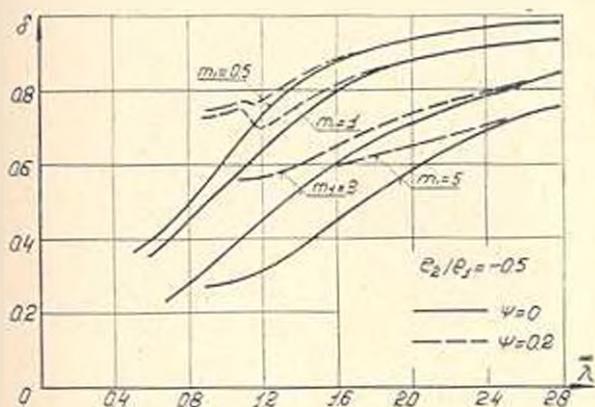


Рис. 2. График  $\delta - \bar{\lambda}$  при  $e_2/e_1 = -0.5$ .

различных знаков, образцы испытывались при соотношениях  $e_2/e_1 = 0$ ;  $e_2/e_1 = -0.5$ ;  $e_2/e_1 = -0.9$ ;  $e_2/e_1 = -1$ . Величина относительного экс-

центриситета  $m_1 = \frac{u_1 e_1 F}{l}$  принималась равной 0.5 для стержней гибкости 40 и 1 и 3 для стержней гибкостью 60 и 100.

Физико-механические характеристики материала стержней приводятся в [4]. Прямолинейность стержней перед испытаниями про-

верялась при помощи специального приспособления и в тех случаях, когда прогиб стержней превышал  $1/1000$  их длины, стержни отбраковывались. В испытаниях применялись ножевые шарнирные приспособления, описанные в [4]. Испытания стержней гибкостью 40 и 60 производились на прецизионном гидрпрессе РАЭ.1, а образцов гибкостью 100 на гидрпрессе ГМС-20. Нагрузки определялись по динамометрам прессов с точностью  $1^0_0$ .

Деформации волокон и прогибы измерялись в четвертях и в середине пролета при помощи датчиков сопротивления с базой 20 мм и прогибомеров ПАО-6. Нагружение образцов производилось ступенями, равными  $\approx 0.1 P_{кр}$  ( $P_{кр}$  — предполагаемая критическая сила) до появления первых признаков пластических деформаций. Следующие ступени нагружения составляли  $2 \cdot 5^0_0$  от  $P_{кр}$ . При состоянии стержня, близком к критическому, ступени нагрузок принимались равными одному делению шкалы пресса. Отсчеты по приборам на всех уровнях нагрузки, кроме критической, брались после стабилизации пластических деформаций. Деформации волокон и прогибы в момент критического равновесия стержня фиксировались осциллограммой, а

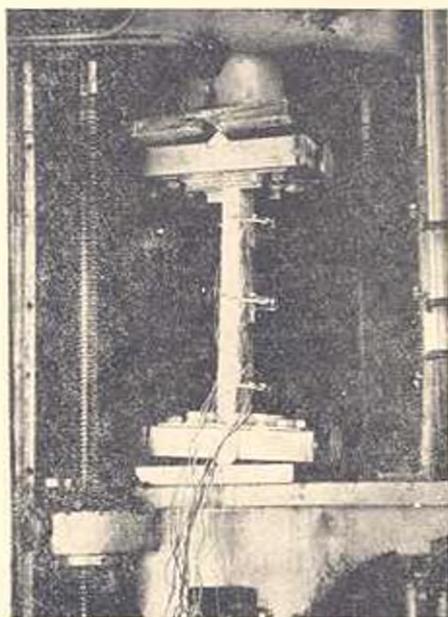


Рис. 3. Испытание сжатого стержня при неодинаковых эксцентриситетах.

также фотографированием показаний прогибомеров. На рис. 3 показан момент испытания сжатого стержня с различными эксцентриситетами приложения нагрузки. На рис. 4 представлены диаграммы  $\sigma_0 - \epsilon$  (напряжение—деформация волокон) и  $\sigma_0 - f$  (напряжение—прогиб) стержней гибкостью 60 при  $\epsilon_0, \epsilon_1 = 1$ . На этих графиках видно, что до

уровня нагрузки  $0.8-0.9 P_{кр}$  поперечное сечение в середине пролета стержня находилось в условиях центрального сжатия, так как относительные деформации волокон были одинаковы и поперечные перемещения приборами не были отмечены, в то время, как в четвертях

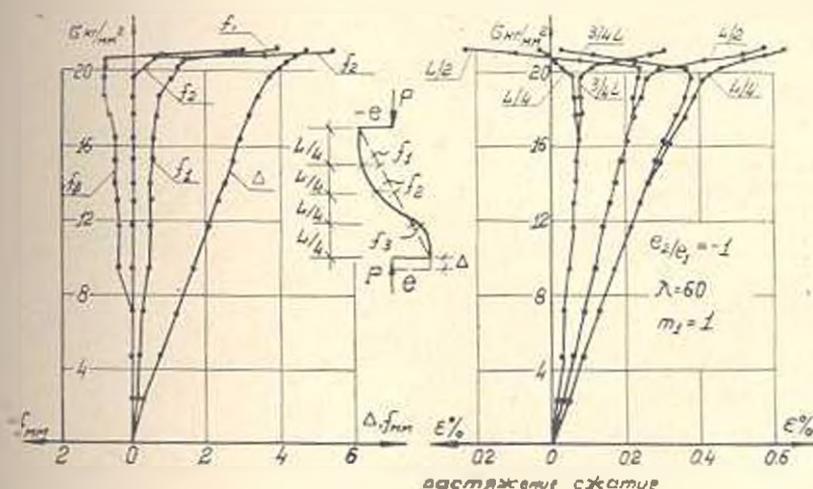


Рис. 4. Прогнбы и относительные деформации сжатого стержня гибкостью 60 при  $e_2/e_1 = -1$ .

Таблица 1  
Результаты испытаний стержней прямоугольного сечения из сплава Д16-Т на сжатие с неравными концевыми эксцентриситетами приложения нагрузки

Классификация образца	$\lambda$	$\frac{L}{r}$	$\nu_1 e_2$	$m_1$	$P_{кр}$ кг	при $e_0 = 39,5 \text{ кг/м.м}^2$		$\bar{\nu}_T$	$\frac{\nu_{II}}{\nu_T}$
						$\bar{\nu}_S$	$P_{кр}, P_{об}$		
09-1-05-1	40,05	-0,9	0,5	66600	0,792			1,023	
09-1-05-2	40,0	-0,9	0,5	68100	0,809		0,773	1,046	
0-6-1-1	60,10	0	1,0	31450	0,371			1,015	
0-6-1-2	59,97	0	1,0	32400	0,385		0,369	1,042	
0-6-3-1	60,0	0	3,0	23450	0,279			1,065	
0-6-3-2	60,03	0	3,0	22700	0,270		0,262	1,032	
05-6-1-1	59,95	-0,5	1,0	35350	0,421			1,015	
05-6-1-2	59,93	-0,5	1,0	36600	0,435		0,115	1,017	
05-6-3-1	59,95	-0,5	3,0	26250	0,312			1,020	
05-6-3-2	60,07	-0,5	3,0	26900	0,319		0,306	1,043	
1-6-1-1	59,95	1,0	1,0	45250	0,538			1,030	
1-6-1-2	60,0	-1,0	1,0	44750	0,532		0,523	1,020	
1-6-3-1	60,0	-1,0	3,0	34400	0,408			1,085	
1-6-3-2	59,96	-1,0	3,0	31950	0,380		0,375	1,015	
0-10-1-1	99,95	0	1,0	11350	0,171			1,010	
0-10-1-2	99,91	0	1,0	11150	0,180		0,169	1,065	
0-10-3-1	99,98	0	3,0	12520	0,149			1,055	
0-10-3-2	100,10	0	3,0	11520	0,138		0,141	0,980	
05-10-1-1	100,0	-0,5	1,0	15040	0,179			1,005	
05-10-1-2	100,05	-0,5	1,0	15540	0,185		0,178	1,040	
05-10-3-1	99,92	-0,5	3,0	14380	0,171			1,080	
05-10-3-2	99,97	-0,5	3,0	13460	0,160		0,158	1,010	
1-10-1-1	100,0	-1,0	1,0	18000	0,214			1,105	
1-10-1-2	99,97	-1,0	1,0	17240	0,205		0,193	1,060	
1-10-3-1	99,92	-1,0	3,0	16580	0,197			1,020	
1-10-3-2	99,95	-1,0	3,0	17200	0,201		0,193	1,055	

пролета наблюдались деформации, возникшие от действия изгибающих моментов. На всех уровнях нагружения вплоть до  $0,8-0,9 P_{кр}$  изогнутая ось стержня имела S-образную антисимметричную форму. При нагрузках в  $0,8-0,9 P_{кр}$  наблюдалось поперечное перемещение сечения в середине пролета и изогнутая ось стержня принимала явно выраженную несимметричную форму.

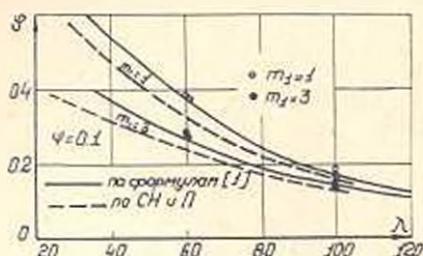


Рис. 5. Сопоставление расчетных данных с экспериментальными при  $e_2/e_1 = 0$ .

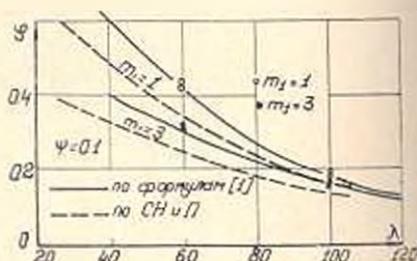


Рис. 6. Сопоставление расчетных данных с экспериментальными при  $e_2/e_1 = -0,5$ .

Проведенные опыты подтвердили теоретические результаты [5, 6] в отношении возникновения явления бифуркации при потере устойчивости стержней, сжатых с равными и противоположно направленными эксцентриситетами. Однако эксперименты показывают, что изменение формы изогнутой оси стержня происходит не при критической нагрузке  $P_{кр}$  и не мгновенно. Бифуркация оси стержня происходит постепенно и заметные поперечные деформации наблюдаются при нагрузках  $0,8-0,9 P_{кр}$ .

В случаях, когда  $e_1/e_2 \neq -1$ , стержни, сжатые с неравными концами эксцентриситетами, испытывали потерю устойчивости второго рода.

В табл. 1 приведены результаты испытаний 26 стержней. Полученные экспериментальные данные на рисунках 5-7 сопоставлены с

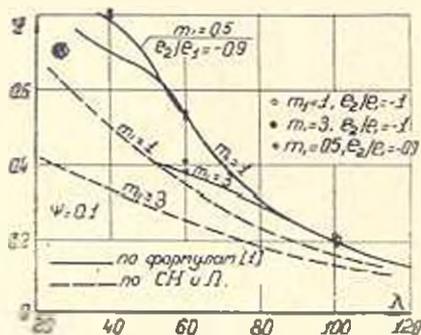


Рис. 7. Сопоставление расчетных данных с экспериментальными при  $e_2/e_1 = -0,9$  и  $e_1/e_2 = -1$ .

расчетными. Сплошной линией показаны кривые, полученные в соответствии с [1], а штрих линией — кривые, рассчитанные в соответствии

с СНиП [7]. Экспериментальные данные на рисунках 5—7 показаны в виде кружков и точек. Из сопоставления видно, что в большинстве случаев расхождение между результатами расчета по методу, изложенному в [1] и экспериментальными данными не превышает 6%. Расхождения между кривыми, полученными по СНиП и экспериментальными данными, растут с уменьшением значения  $e_2/e_1$ . При  $e_2/e_1 = -1$  расхождение достигает 55%, причем, нормативные формулы дают преуменьшенную величину критической нагрузки.

АНСМ

Поступило 16.9.1968

Ս. Ա. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ

ԱՅՈՒՄԻՆԵ ՄԻԱՆԱԿԱՇՔԻՑ ՉՈՂԵՐԻ ԿՐՈՂՈՆԱԿՈՒԹՅԱՆ  
ԷՔՍՊԵՐԻՄԵՆՏԱԿ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍԵՂՄՈՂ ՌԻՏԻ ԿՐՈՂՈՄԱՆ  
ՏԱՐԱՆՅՍԱԿ ԱՊԱԿԵՆՏՐՈՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԳԵՊԲՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Առաջարկված է սեղմված ձողերի կրողունակության վրա ծայրային ապակենտրոնությունների աղղեցություն զործակցի որոշման եղանակ, Ֆերված են D 16—TS ալյումինե միահալվածքից բառանկյուն կտրվածք ունեցող սեղմված ձողերի վրա կատարված փորձերի արդյունքները՝ ծայրային ապակենտրոնությունների  $e_2/e_1 = 0, -0.5, -0.9$  և  $-1$  հարաբերությունների դեպքում: Նշվում է, որ էրապերմենտալ տվյալների և առաջարկված եղանակով ստացված արդյունքների համադրումը աախս է բավարար զուգամիտություն: Փորձերի արդյունքներով հաստատված է, որ երբ  $e_2/e_1 = 0$  ու բևոնվածքն է  $0,8 - 0,9$   $P_{\text{սն}}$  ապա ձողի ծոված առանցքի S-անման հակասիմետրիկ ձևի փոխակերպում է անսիմետրիկի:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Багдасарян С. А. Прочность сжатых стержней при неодинаковых концевых эксцентриситетах с учетом линейного упрочнения материала. Изв. АН АрмССР (серия Т. II), т. XX, № 2, 1967.
2. Ježek K. Die Festigkeit von Druckstäben aus Stahl. Wien, 1937.
3. Соболев Ю. В. Исследование устойчивости висцентренно сжатых стальных стержней при неодинаковых эксцентриситетах. Научные доклады высшей школы (серия „Строительство“), № 2, 1958.
4. Багдасарян С. А. Экспериментальное исследование несущей способности сжатых стержней из алюминиевого сплава D16—T. Изв. АН АрмССР (серия Т. II), т. XVIII, № 3, 1965.
5. Chwalla E. Außermittig gedrückte Baustahlstäbe mit elastisch eingespannten Enden und verschieden großen Anzißhebelen. „Stahlbau“, II. 7. II. 8, 1937.
6. Лейтин С. Д., Раздоликский А. Г. Исследование устойчивости висцентренно сжатых упруго-пластических стержней. „Строительная механика и расчет сооружений“, № 1, 1967.
7. Строительные нормы и правила, часть II, раздел В, глава 5. Алюминиевые конструкции (СНиП II—В.5—64), М., 1965.