

Л. К. Мартенс

Техническая энциклопедия

Том 6

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 62
ББК 30.6
Л11

Л11 **Л. К. Мартенс**
Техническая энциклопедия: Том 6 / Л. К. Мартенс – М.: Книга по Требованию, 2024. – 482 с.

ISBN 978-5-458-23039-1

Техническая энциклопедия издавалась в 1927—1934 годах издательством «Акционерное Общество Советская энциклопедия» (Москва), позже ставшим Государственным Словарно-Энциклопедическим издательством "Советская Энциклопедия". Главный редактор Л. К. Мартенс. 1-ый том вышел 1 января 1928 г. Вместе с Энциклопедией выпускался "Справочник Физических Химических и Технологических величин вышедший в 8-ти томах". Первый том Справочника вышел в 1927 году. Репринтное издание по технологии print-on-demand с оригинала 1929 года.

ISBN 978-5-458-23039-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

v.—volume, volumes.
вкл.—включительно.
выс.—высота.
гг.—годы, города.
гл. обр.—главным образом.
д.—деревня, долгота.
д. б.—должно быть.
ж. д.—железная дорога. —
з.-европ.—западно-европей-
ский.
з-д—завод.
изд.—издание.
ин-т—институт.
Jg.—Jahrgang.
кпд—коэффициент полезного
действия.
к-рый—который.
к-та—кислота.
Lfg.—Lieferung, Lieferungen.
м—мета (хим.).
м. б.—может быть.
м. г.—минувшего года.
меш (mesh)—число отверстий
в ситах на лин. дюйм.
мн-к—многоугольник.
мол. в.—молекулярный вес.
нек-рый—некоторый.
о—орто (хим.).
об-во—общество.

о-в—остров.
п—пара (хим.).
р.—pagina, paginae (лат.—
страница, страницы).
промышл.—промышленность.
проф.—профессор.
SK—вегеровские конуса.
С., Ю., В., З.—север, юг,
восток, запад.
с.-з., ю.-в.—северо-западный,
юго-восточный.
стр.—страницы.
т., тт.—том, томы.
t.—tome, tomes.
T.—Teil, Teile.
тв.—твердость.
т-во—товарищество.
темп-ра—температура.
т. н.—так называемый.
тр-к—треугольник.
уд.—удельный
уд. в.—удельный вес.
ур-ие—уравнение.
У. П.—Урочное Положение.
u. ff.—und folgende.
ф-ия—функция.
ф-ка—фабрика.
ф-ла—формула.
Н—Heft, Hefte.

хим. сост.—химический со-
став.
ц. т.—центр тяжести.
Ztg.—Zeitung.
Ztrbl.—Zentralblatt.
Ztschr.—Zeitschrift.
ш.—широта.
эдс—электродвижущая сила.
эфф.—эффективный.
Ан. П.—английский патент.
Ам. П.—американский »
Г. П.—германский »
Р. П.—русский »
Сов. П.—советский »
Ф. П.—французский »
В.—Berlin.
Brschw.—Braunschweig.
L.—London.
Lpz.—Leipzig.
Mch.—München.
N. Y.—New York.
P.—Paris.
Stg.—Stuttgart.
W.—Wien.
Wsh.—Washington.
Л.—Ленинград.
М.—Москва.
П.—Петроград.
СПБ—Петербург.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ НАЗВАНИЙ РУССКИХ И ИНОСТРАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ, ОБЩЕСТВ, ФИРМ

«АзНХ»—Азербайджанское нефтяное хо-
зяйство, Баку.
БМЭ—Большая медицинская энциклопедия,
Москва.
БСЭ—Большая советская энциклопедия,
Москва.
«ВВ»—Военный вестник, Москва.
«ВВФ»—Вестник воздушного флота, Москва.
«ВИ»—Вестник инженеров, Москва.
«ВС»—Вестник стандартизации, Москва.
«ВТ»—Вопросы труда, Москва.
«ГЖ»—Горный журнал, Москва.
«ГТ»—Гигиена труда, Москва.
«Ж»—Журнал Русского физико-химическо-
го об-ва, Ленинград.
«ЖРМО»—Журнал Русского металлурги-
ческого об-ва, Ленинград.
«ЖХП»—Журнал химической промышлен-
ности, Москва.
«ИТИ»—Известия Теплотехнического инсти-
тута им. проф. В. И. Гриневецкого и
К. В. Кирша, Москва.
«ИТПТ»—Известия текстильной промыш-
ленности и торговли, Москва.
«МС»—Минеральное сырье и его перера-
ботка, Москва.
«МХ»—Мировое хозяйство и мировая по-
литика, Москва.
«НИ»—Нерудные ископаемые, Ленинград.
«НХ»—Нефтяное хозяйство, Москва.
ОСТ—Общесоюзные стандарты, Москва.
«ПТ»—Промышленность и техника, СПб.
«ПХ»—Плановое хозяйство, Москва.
«СГ»—Социальная гигиена, Москва.

«СП»—Строительная промышленность, Мо-
сква.
Спр. ТЭ—Справочник физических, хими-
ческих и технологических величин.
«СТ»—Санитарная техника, Москва.
«СХ»—Социалистическое хозяйство, Мо-
сква.
«ТД»—Торфяное дело, Москва.
«ТиТБП»—Телеграфия и телефония без про-
водов, Н.-Новгород.
«Труды ГЭЭИ»—Труды Гос. эксперимен-
тального электротехнич. ин-та, Москва.
«Труды НАМИ»—Труды Научного автомо-
торного ин-та, Москва.
«Труды НИУ»—Труды Научного ин-та по
удобрениям, Москва.
«Труды ЦАГИ»—Труды Центрального аэро-
гидродинамич. ин-та, Москва.
ТЭ—Техническая энциклопедия, Москва.
«УФН»—Успехи физических наук, Москва.
«ХД»—Хлопковое дело, Москва.
«AAZ»—Allgemeine Automobil - Zeitung,
Wien.
«A. Ch.»—Annales de Chimie et de Phy-
sique, Paris.
AEG—Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft,
Berlin.
AGFA—Aktien-Gesellschaft für Anilin-Fab-
rikation, Berlin.
«Am. Soc.»—Journal of the American Che-
mical Society, Easton, Pa.
«Ann. d. Phys.»—Annalen der Physik,
Leipzig.
«Ann. Min.»—Annales des Mines, Paris.

- «B»—Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft, Berlin.
 BAMAG—Berlin-Anhaltische Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft, Dessau.
 BASF—Badische Anilin- und Soda-Fabrik, Ludwigshafen a/R.
 «B. u. E.»—Beton und Eisen, Berlin.
 Bayer—Farbenfabriken vorm. Fr. Bayer & Co, Köln a/R.
 «Ch. Ind.»—Die chemische Industrie, Berlin.
 «Ch.-Ztg.»—Chemiker-Zeitung, Cöthen.
 «Ch. Ztrbl.»—Chemisches Zentralblatt, Berlin.
 «CR»—Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris.
 DIN—Deutsche Industrie-Normen.
 «Dingl.»—Dinglers polytechnisches Journal, Berlin.
 «EChZ»—Elektrochemische Zeitschrift, Berlin.
 «EMA»—Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau, Berlin.
 «EuM»—Elektrotechnik und Maschinenbau, Wien.
 «ETZ»—Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.
 «GC»—Génie Civil, Paris.
 Handb. Ing.—Handbuch der Ingenieurwissenschaften, herausgegeben von L. Willmann, Th. Landsberg, E. Sonne, in 5 Teilen, 1910—25, Leipzig.
 «I. Eng. Chem.»—Industrial and Engineering Chemistry, Easton, Pa.
 I. G.—I. G. (Interessengemeinschaft) Farbenindustrie A.-G., Leverkusen b. Köln a/R.
 «JAIEE»—Journal of the American Institute of Electrical Engineers, New York.
 «J. Ch. I.»—Journal of the Society of Chemical Industry, London.
 «Lieb. Ann.»—Liebig's Annalen der Chemie, Berlin.
 «Mitt. Forsch.»—Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Berlin.
 «M. Sc.»—Moniteur Scientifique du Docteur Quesneville, Paris.
 «MuM»—Wochenschrift für die gesamte Mülerei und Mühlenbau-Industrie, München.
 NDI—Normenausschuss der deutschen Industrie.
 «PeKa»—Fachblatt für Parfümerie und Kosmetik, München.
 «RGE»—Revue Générale de l'Électricité, Paris.
 «RM»—Revue de Métallurgie, Paris.
 «Soc.»—Journal of the Chemical Society, London.
 «St. u. E.»—Stahl und Eisen, Düsseldorf.
 Ullm. Enz.—Enzyklopädie der technischen Chemie, herausgegeben von F. Ullmann, Wien—Berlin, 1915—23.
 «WeTeZ»—Westdeutsche Textil-Zeitung, Elberfeld.
 «Z. ang. Ch.»—Zeitschrift für angewandte Chemie, Berlin.
 «Z. d. VDI»—Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Berlin.
 «ZFM»—Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, München.

В шестом томе ТЭ помещены: 825 иллюстраций в тексте и 14 вкладок к статьям: «Грибы домовые» — 1, «Двигатели Дизеля» — 1 (двойная), «Дендритное строение» — 1, «Деформация» — 2 (в красках), «Деформация металлов» — 2, «Деформация пластическая» — 2, «Дирижабль» — 3, «Диспечерская система» — 1, «Диффракция» — 1.

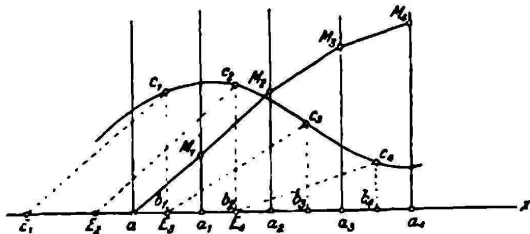
ГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ применяются для быстрого, удобного и наглядного решения теоретич. вопросов и наглядного изображения результатов этих решений, а также для замены вычислений при решении практич. вопросов в *графической статике*, (см.), *механике прикладной* (см.), *механике теоретической* (см.) (в приложениях и развитии векторного анализа, см. *Векторное исчисление*), в номографии и в целом ряде социально-экономических наук.

Лит.: Wittenbauer F., *Graphische Dynamik*, Berlin, 1923. См. также лит. в соответствующих статьях.

ГРАФИЧЕСКОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ. В случае, когда требуется найти интеграл $F(X) =$

$= \int_a^x f(x) dx$ и для $f(x)$ дан график, вместо

вычисления $F(X)$ для разных значений X (см. *Вычисления приближенные*) гораздо проще построить график функции $F(X)$, который позволит с достаточной точностью находить значения этой ф-ии для различных значений аргумента (см. фиг.). Для кривой $y=f(x)$



строим ординаты в точках соответствующих абсциссам $a, a_1=a+h, a_2=a+2h, a_3=a+3h, \dots$, а также (пунктиром) проводим ординаты в серединах этих промежутков, $b_1=a+\frac{h}{2}, b_2=a+\frac{3h}{2}, b_3=a+\frac{5h}{2}, \dots$. Затем выбираем единицу масштаба для площадей — отрезок l — и откладываем его влево от точек $b_1, b_2, b_3, \dots$ до точек $E_1, E_2, E_3, \dots$ (на фиг. $l=2h$). Соединяем (пунктиром) E_1 с вершиной c_1 ординаты точки b_1 и из a проводим прямую параллельно E_1c_1 до пересечения в точке M_1 с ординатой, соответствующей a_1 . Отрезок aM_1 изображает приблизительно течение интегральной кривой между a и $a+h$. Далее, соединяем E_2 с c_2 и проводим

$M_1M_2 \parallel E_2c_2$ до пересечения с ординатой при a_2 ; проводим прямую E_3c_3 и параллельно ей отрезок M_2M_3 , и т. д. Все течение кривой $y=F(X)$ приблизительно изобразится ломаной $aM_1M_2M_3 \dots$. В самом деле, по ф-ле трапеций (см. *Вычисления приближенные*) имеем: $F(h) \cong \frac{h}{2}(y_0 + y_1)$; из подобия треугольников aa_1M_1 и $E_1b_1c_1$ следует: $\frac{a_1M_1}{aa_1} = \frac{b_1c_1}{E_1b_1}$.

Но $E_1b_1=1, b_1c_1 \cong \frac{y_0+y_1}{2}, aa_1=h$, следовательно, $a_1M_1 \cong \frac{h}{2}(y_0 + y_1) \cong F(h)$. Точно так же можно доказать, что

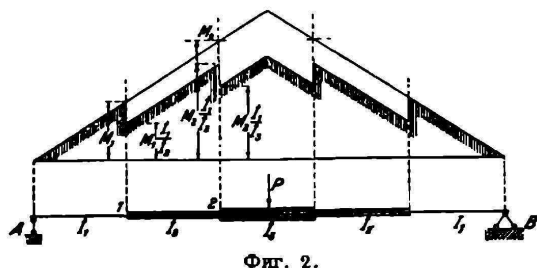
$$a_2M_2 \cong \frac{h}{2}(y_0 + y_1) + \frac{h}{2}(y_1 + y_2) \cong \int_0^{2h} f(x) dx = F(2h).$$

Лит.: Крылов А., *Лекции о приближенных вычислениях*, СПб, 1911. В. Степанов.

ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ. Графическ. способам отдают предпочтение, когда требуется определить перемещения целого ряда точек, напр., прогибы всех узлов фермы. В отдельных случаях и для нахождения перемещения одной точки графические приемы могут дать наиболее простое, а иногда и единственное решение, именно, когда аналитич. решение сопряжено с интегрированием сложно интегрируемых или неинтегрируемых ф-ий. Г. о. п. применяется как для систем сплошных (балки, арки, рамы), так и для систем шарнирно-стержневых (фермы). И в том и в другом случае предполагается, как это вообще принято в теории сооружений, что перемещения являются величинами весьма малыми по сравнению с общими размерами тела; поэтому для тел гибких (проволока, кабель и т. п.) излагаемые ниже приемы неприменимы.

Построение перемещений в сплошных системах. В сплошных системах пренебрегают влиянием продольной и поперечной силы на деформации и строят перемещения, учитывая только изгибающий момент. Из теории известно выражение кривизны изгиба: $\frac{1}{\rho} = -\frac{M}{EI}$, где M — изгибающий момент в сечении, E — модуль упругости первого рода, I — момент инерции.

равных $\frac{M_1}{I_1} I_0$, $\frac{M_2}{I_2} I_0$, $\frac{M_3}{I_3} I_0$, и т. д., а полюсное расстояние H взять равным $1 \cdot EI_0$, где I_0 —произвольно взятое значение момента инерции (на фиг. 2 принято $I_0 = I_1$). В предыдущем изложении предполагалось, что перемещения д. б. построены в масштабе чертежа, но т. к. перемещения — величины



Фиг. 2.

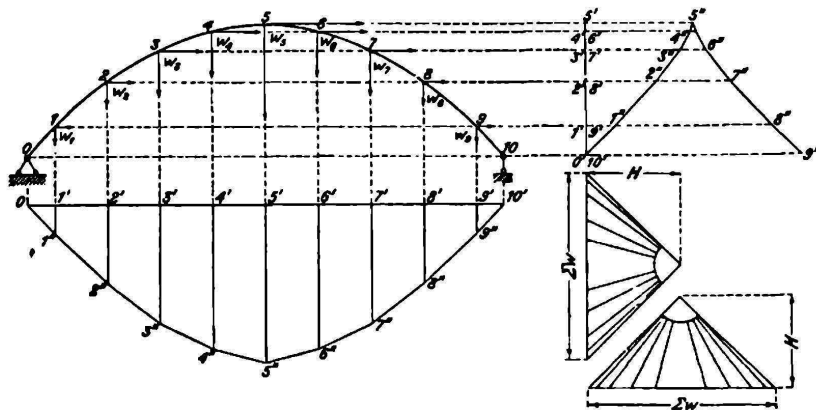
весьма малые, то практически их приходится строить в значительно увеличенном масштабе. Для чертежа, построенного в масштабе $\frac{1}{k}$ натуральной величины и при требуемом увеличении перемещений в m раз против натуральной величины, общее увеличение перемещений против масштаба чертежа будет в mk раз, что достигается путем уменьшения во столько же раз полюсного расстояния, т. е., в том случае, когда за условную нагрузку принята эпюра моментов, полюсное расстояние H принимается равным $1 \cdot \frac{EI}{mk}$.

Изложенные приемы применимы и для построения перемещений в кривых стержнях (брусках малой кривизны) в тех случаях, когда возможно пренебречь влиянием на деформации нормальной и поперечной сил (см. *Арки*). Пример такого построения горизонтальных и вертикальных перемещений для кривого бруса переменного сечения дан на фиг. 3. За упругие грузы в этом построении взяты величины $M \frac{I_0}{I} \Delta s$, а полюсное расстояние H принято равным $1 \cdot EI_0$, где M —среднее значение момента в данном участке Δs , I —среднее значение момента инерции для этого участка и I_0 —некий произвольно выбранный момент инерции.

Построение перемещений в статически неопределимых системах. После того как найдены лишние неизвестные и построена эпюра моментов, построение перемещений в статически неопределимых системах не отличается от такового для систем статически определимых. На фиг. 4 показано построение прогибов для неразрезной балки постоянного сечения, заделанной на левом конце и с консолью на правом. За условную нагрузку принята эпюра моментов, построенная при помощи фокусных то-

чек (см. *Балки неразрезные*); полюс выбран так, чтобы первый луч был горизонтальным; направление этого луча будет служить замыкающей, так как ось бруса в месте заделки остается горизонтальной. Построенная упругая линия пересечет эту замыкающую под всеми опорными точками.

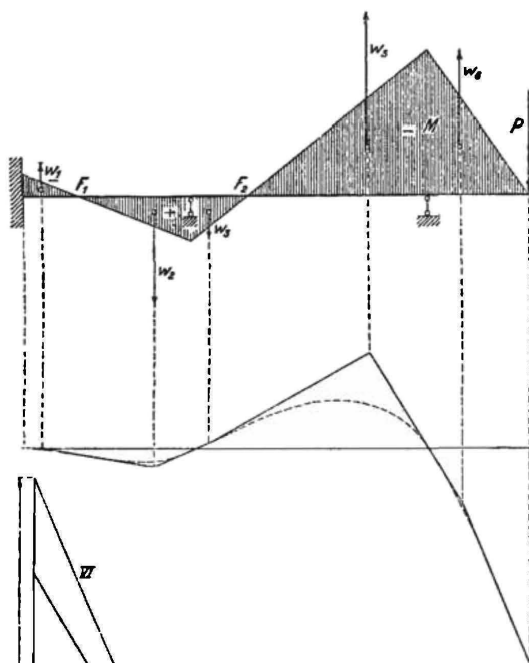
Перемещения в фермах. Для нахождения перемещений в фермах выделяют из состава фермы непрерывный шарнирно-стержневой зигзаг, проходящий через опоры и через те узлы, перемещения которых требуется определить (фиг. 5). Образования прогибов в фермах отличаются от таковых в системах сплошных тем, что в последних каждому элементу ds оси изгибаемого бруса соответствует угловая деформация, равная $\frac{M}{EI} \cdot ds$. Эта угловая деформация принимается, при построении перемещений, за элементарный упругий груз W , а вся условная нагрузка в целом представляется в виде эпюры сплошной распределенной нагрузки $\frac{M}{EI}$. В фермах же, согласно принятой схеме расчета их как шарнирно-стержневых систем, изгибающий момент в стержнях равен нулю, стержни, составляющие ферму, остаются прямыми, и угловые деформации $\Delta\theta$ имеются только в узлах системы. Следовательно, перемещения выделенного из состава фермы зигзага (фиг. 5) зависят от сосредоточенных угловых деформаций—углов θ между его сторонами и от удлинений его сторон S . Перемещения, вызванные угловыми деформациями в узлах, на основании рассуждений, аналогичных сделанным по отношению к сплошным системам, могут быть построены, как веревочный многоугольник для сосредоточенных упругих грузов W_k , равных угловым деформациям $\Delta\theta_k$ в узлах шарнирной цепи. Величины этих последних определяются из условия деформации всей фермы; способы определения их указаны ниже. Перемещения, получающиеся в зигзаге шарнирной цепи в результате удлинения ее сторон, м. б. также получены при помощи веревочного мн-ка путем выражения



Фиг. 3.

их через упругие грузы W . Действительно, перемещения, вызываемые удлинением какого-нибудь стержня S_k на величину ΔS_k , могут быть представлены как сумма двух

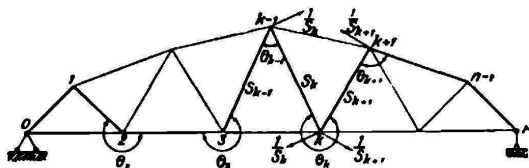
перемещений (фиг. 6): 1) перемещения любой точки зигзага правее узла k на величину ΔS_k , в результате чего правый концевой шарнир цепи сместится также на величину ΔS_k ,



Фиг. 4.

и 2) перемещений всех точек цепи как жесткого целого до совмещения правого концевой узла с направлением плоскости подвижности. Первое из этих перемещений по рассматриваемому направлению для всех правых точек определяется величиной

$\Delta S_k \cdot \sin \alpha_k$. Второе для всех точек цепи определяется формулой: $\Delta \theta'_k \cdot x = \frac{\Delta S_k \cdot \sin \alpha_k}{l} \cdot x$, где $\Delta \theta'_k$ — поворот цепи вокруг левого опорного шарнира; x — расстояние рассматриваемой точки относительно левого опорного шарнира. Легко видеть, что сумма этих перемещений может быть получена как результат действия пары сил, приложенных к



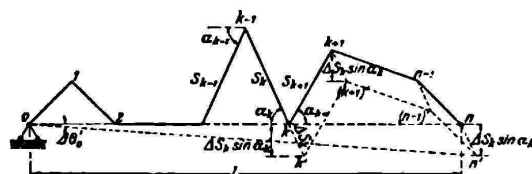
Фиг. 5.

шарнирам $k-1$ и k цепи, т. е. по концам стержня S_k , по направлению искомого перемещения и равных каждая: $W = \frac{\Delta S_k}{S_k} \cdot \operatorname{tg} \alpha_k$. Момент этой пары:

$$\frac{\Delta S_k}{S_k} \cdot \operatorname{tg} \alpha_k \cdot S_k \cdot \cos \alpha_k = \Delta S_k \cdot \sin \alpha_k,$$

т. е. равен перемещению всех правых точек цепи. Вызываемая же ее действием фик-

тивная опорная реакция на левом конце $\frac{\Delta S_k \cdot \sin \alpha_k}{l} = \Delta \theta'_k$, т. е. равна углу поворота цепи как одного жесткого целого вокруг левого шарнира. Выбор направления сил пары делается в зависимости от вида перемещения, вызываемого удлинением ΔS_k стороны S_k . Если это удлинение вызывает перемещение всех правых точек цепи книзу,



Фиг. 6.

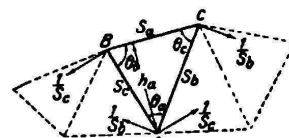
то паре дается направление положительного момента, т. е. по ходу часовой стрелки; если же все удлинение таково, что смещение правых точек происходит кверху, то паре сил дается направление, вращающее против хода часовой стрелки. Т. о., упругий груз W в узле k при положительном значении углов α и удлинении сторон S_k и S_{k+1} , будет определяться выражением вида:

$$W_k = \Delta \theta_k - \frac{\Delta S_k}{S_k} \cdot \operatorname{tg} \alpha_k + \frac{\Delta S_{k+1}}{S_{k+1}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{k+1}.$$

Первый член правой части учитывает влияние на перемещение угловой деформации $\Delta \theta_k$ шарнирной цепи, а второй и третий — влияние линейных деформаций сторон зигзага. Если стержни зигзага горизонтальны, то тангенсы углов наклона стержня к горизонту обращаются в нуль, второй и третий член в выражении упругого груза пропадают, и вычисление упругого груза упрощается. Первый член выражения упругого груза, т. е. угловую деформацию $\Delta \theta$, можно подсчитать или исходя из аналитич. приемов определения деформаций или из геометрич. соображений. Первый способ, наиболее общий и пригодный для любой фермы, заключается в нахождении углового перемещения по следующей формуле (Мора)

$$\Delta \theta_k = \sum \frac{N' \cdot N}{E \cdot \omega} \cdot S,$$

где ω обозначает площадь сечения стержня, S — длину стержня, N — значение усилия в элементе фермы от данной нагрузки (первое состояние), N' — значение усилия в элементе фермы от единичной нагрузки второго состояния. Т. к. искомое перемещение представляет собой отн. угол поворота между двумя стержнями фермы, то за систему сил второго состояния принимаются две пары, равные единице, противоположные по знаку, приложенные к этим стержням S_k и S_{k+1} . Следовательно, величины этих сил соответственно равны $\frac{1}{S_k}$ и $\frac{1}{S_{k+1}}$; направление их берется таковым, чтобы угол получал положительное приращение.



Фиг. 7.

Если ферма состоит из простых тр-ков, то приращение любого угла тр-ка легко определяется по следующим ф-лам (фиг. 7). Для определения деформации угла тр-ка θ_a прикладываем к сторонам его S_b и S_c по паре с силами $\frac{1}{S_b}$ и $\frac{1}{S_c}$. Тогда усилия от этих пар в сторонах тр-ка будут:

$$N'_a = \frac{1}{h_a}; \quad N'_c = -\frac{1}{h_a} \cdot \cos \theta_b; \quad N'_b = -\frac{1}{h_a} \cdot \cos \theta_c.$$

Т. о., деформация угла $\Delta\theta_a$ представится в следующем виде:

$$\Delta\theta_a = \frac{\Delta S_a}{h_a} - \frac{\Delta S_c}{h_a} \cdot \cos \theta_b - \frac{\Delta S_b}{h_a} \cdot \cos \theta_c.$$

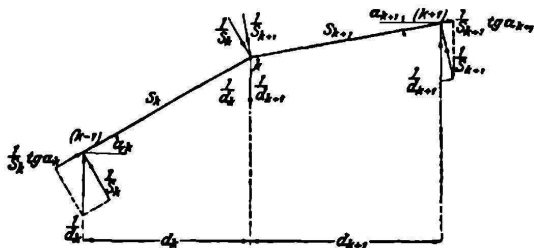
Заменяя в этом выражении величины h_a через равные им величины $h_a = S_c \sin \theta_b$; $h_a = S_b \sin \theta_c$; $S_a = h_a (\operatorname{ctg} \theta_c + \operatorname{ctg} \theta_b)$ и сделав приведение, получим:

$$\Delta\theta_a = \left(\frac{\Delta S_a}{S_a} - \frac{\Delta S_c}{S_c} \right) \operatorname{ctg} \theta_b + \left(\frac{\Delta S_a}{S_a} - \frac{\Delta S_b}{S_b} \right) \operatorname{ctg} \theta_c.$$

Так как относит. удлинение $\frac{\Delta S}{S} = \frac{N}{E \cdot \omega} = \frac{n}{E}$, где n — нормальное напряжение, то предыдущее равенство м. б. выражено так:

$$E \Delta\theta_a = (n_a - n_c) \operatorname{ctg} \theta_b + (n_a - n_b) \operatorname{ctg} \theta_c.$$

Вообще же, если угол θ_k , образуемый шарнирной цепью, складывается из нескольких



Фиг. 8.

углов тр-ков, входящих в состав фермы, то величина упругого груза W_k , зависящего от деформации $\Delta\theta_k$, м. б. вычислена по ф-ле:

$$W_k = \Delta\theta_k = \frac{1}{E} \sum [(n_a - n_c) \operatorname{ctg} \theta_b + (n_a - n_b) \operatorname{ctg} \theta_c].$$

Если производится вычисление упругих грузов W в зависимости от угловых деформаций $\Delta\theta$ цепи и удлинений ΔS стержней цепи, т. е. по формуле:

$$W'_k = \Delta\theta_k - \frac{\Delta S_k}{S_k} \operatorname{tg} \alpha_k + \frac{\Delta S_{k+1}}{S_{k+1}} \operatorname{tg} \alpha_{k+1},$$

то при этом учете парам сил, определяющим 2-е состояние загрузки, надо дать направление искомого перемещения (фиг. 8), т. е. приложить к сторонам цепи пары с силами

$$\frac{1}{d_k} = \frac{1}{S_k \cos \alpha_k} \quad \text{и} \quad \frac{1}{d_{k+1}} = \frac{1}{S_{k+1} \cos \alpha_{k+1}}.$$

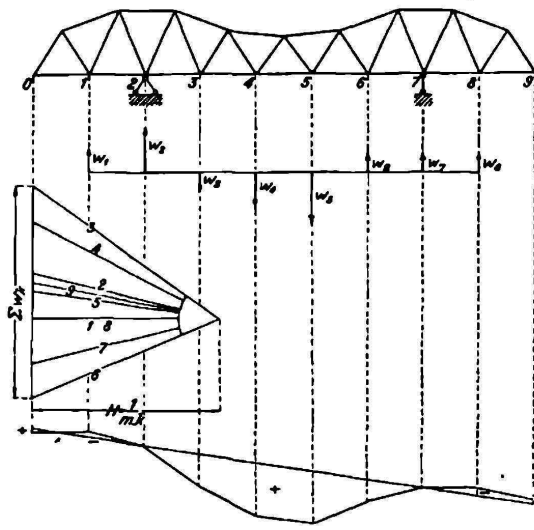
Эти силы, будучи разложены по направлениям, перпендикулярным к стержням цепи, и по направлению стержней цепи, приведутся: 1) к парам с силами $\frac{1}{S_k}$ и $\frac{1}{S_{k+1}}$, определяющим влияние деформации угла $\Delta\theta_k$ на величину упругого груза и 2) к продольным силам: $\frac{1}{S_k} \operatorname{tg} \alpha_k$ и $\frac{1}{S_{k+1}} \operatorname{tg} \alpha_{k+1}$, определяющим влияние деформаций сторон ΔS_k и ΔS_{k+1} на величину упругого груза. Переходя

к напряжениям, можно пользоваться следующим выражением для упругого груза W_k :

$$EW_k = E \Delta\theta_k \pm n_{k-1} \operatorname{tg} \alpha_{k-1} \pm n_{k+1} \operatorname{tg} \alpha_{k+1}.$$

Для примера последовательности построения на фиг. 9 показано построение прогибов нижнего пояса консольной фермы. В виду того, что все элементы зигзага горизонтальны, второй и третий члены в выражении упругих грузов отпадают. Чтобы получить прогибы, увеличенные в k раз против натуральной величины при масштабе чертежа в $\frac{1}{m}$,

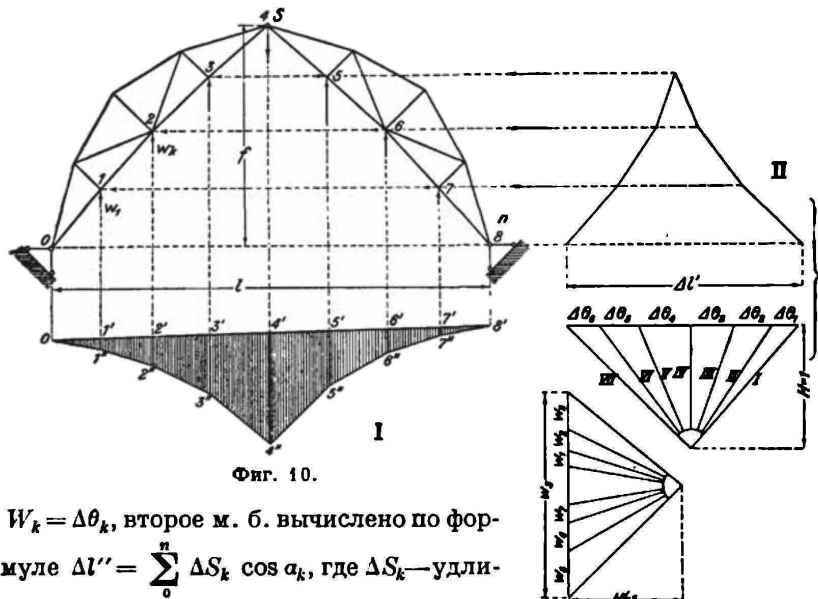
полюсное расстояние взято равным $H = \frac{1}{mk}$ (в масштабе упругих грузов). На построенный для упругих грузов веревочный мн-к снесены опорные точки и проведена замыкающая прямая, относительно которой измеряются прогибы узлов системы. Иногда для упрощения расчетов упругие грузы W вычисляют только по деформациям поясов, т. е. пренебрегая деформацией решетки. Этот прием, однако, влечет за собой довольно значительную погрешность в конечных величинах прогибов. Графическое определение м. б. также применено для построения горизонтальных составляющих перемещений узлов, подобно тому как это было показано для сплошных систем. К такому построению приходится, напр., прибегать при нахождении перемещения в трехшарнирных арках (фиг. 10). В этих системах нельзя непосредственно определить искажение угла в шарнире S арки по выведенным выше ф-лам; нахождение его делается на основании следующих соображений. Горизонтальное перемещение правой опоры, равное нулю, вследствие неподвижности обеих опор арки, м. б. рассматриваемо как сумма двух перемещений: 1) перемещения в результате искажения всех углов, кроме угла в шарнире S , и удлинения всех сторон зигзага и 2) перемещения в результате искажения угла в



Фиг. 9.

шарнире. Обозначая первое из этих перемещений через Δl , получим $\Delta l + f \cdot \Delta\theta_s = 0$, где f — расстояние шарнира S от линии перемещений. Величина перемещения Δl складывается, как указано выше, из перемещения

$\Delta l'$, вызываемого деформациями углов $\Delta\theta$ цепи, и перемещения $\Delta l''$, вызываемого деформациями ΔS стержней цепи. Первое из них может быть определено путем построения веревочного мн-ка (фиг. 10, II) для горизонтального направления упругих грузов



Фиг. 10.

$W_k = \Delta\theta_k$, второе м. б. вычислено по формуле $\Delta l'' = \sum \Delta S_k \cos \alpha_k$, где ΔS_k —удли-

нение стороны цепи, а α_k —угол наклона ее к линии перемещения. Таким образом, для определения абсолютной величины деформации угла при шарнире S мы будем иметь:

$$\Delta\theta_s = \frac{1}{f} (\Delta l' + \sum \Delta S_k \cos \alpha_k).$$

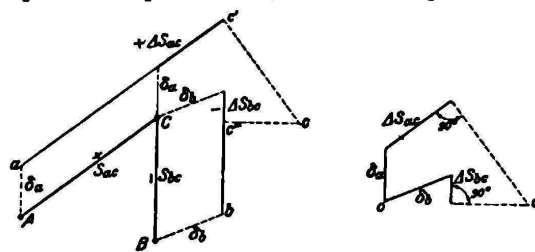
Когда определена величина $\Delta\theta_s$, построение линии прогиба арочной фермы делается путем построения веревочного мн-ка для упругих грузов $W = \Delta\theta$, включая в число их и упругий груз $W_s = \Delta\theta_s$. На фиг. 10, I, показано построение этого многоугольника с полюсным расстоянием $H' = 1$.

Диаграммы Виллио. При построении перемещений методом упругих грузов получают не действительные перемещения, а их составляющие по заданному направлению. Если требуется найти действительное перемещение узлов, то следует построить их геометрические суммы. Кроме такого приема, можно прибегнуть к особому методу, носящему название диаграммы Виллио, дающему в одном построении полные перемещения всех узлов фермы. Построение это основано на следующих соображениях. Геометрическая схема деформированного состояния фермы определяется тем, что образующие эту ферму треугольники составлены из стержней, получивших под влиянием нагрузки то или иное приращение длины. Однако, получить схему деформированного состояния фермы путем непосредственного геометрич. построения тр-ков по их деформированным сторонам практически нельзя, т. к. приращения длин стержней—величины весьма малые, в масштабе фермы выражающиеся ничтожными отрезками, и, следовательно, точность такого построения была бы

весьма малой. Взамен этого в диаграмме Виллио приращения длин и перемещения узлов строятся на особом чертеже отдельно от чертежа фермы и в значительно увеличенном масштабе. Построение это основано на следующих соображениях. Предположим

(фиг. 11), что мы имеем шарнир C , связанный стержнями AC и BC с шарнирами A и B . Требуется найти перемещение δ_c шарнира C в результате того, что шарниры A и B получили перемещения δ_a и δ_b , равные $A-a$ и $B-b$, а стержни AC и BC получили приращения длины, равные ΔS_{ac} и $-\Delta S_{bc}$. Если бы рассматриваемые стержни не были связаны с шарниром C и перемещались параллельно самим себе, то в результате перемещений шарниров A и B и удлинений стержней AC и BC точка C стержня AC переместилась бы в точку c' , а точка C стержня BC —в точку c'' . Но т. к. эти точки

связаны шарниром C , то вращением стержней AC и BC , длиною $S_{ac} + \Delta S_{ac}$ и $S_{bc} - \Delta S_{bc}$, вокруг точек a и b надо совместить точки c' и c'' и найти истинное положение шарнира c и, следовательно, его перемещение $C-c$. Дуги окружности при построении перемещений от вращения можно заменять перпендикулярами к радиусам вращения, в виду того что приращения ΔS_{ac} и ΔS_{bc} —величины весьма малые по сравнению с длинами S_{ac} и S_{bc} . Само же построение можно отделить от чертежа стержней и сделать в стороне.



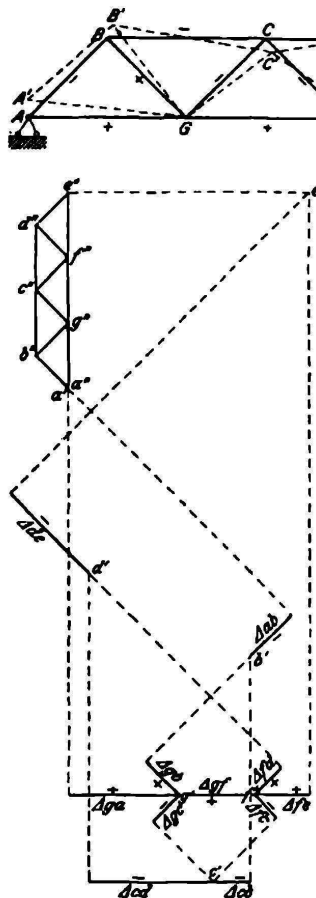
Фиг. 11.

Пользуясь этим приемом, построение диаграммы Виллио ведут в следующем порядке (фиг. 12). Предварительно подсчитывают приращение длин стержней под влиянием усилий в них и температурных изменений по формуле:

$$\Delta S_k = \frac{N_k}{E \omega_k} \cdot S_k + \alpha \cdot t \cdot S_k,$$

где N_k —усилие в элементе k , ω_k —сечение элемента, S_k —длина элемента, t —приращение темп-ры и α —коэфф. расширения. Затем, чтобы диаграмма получилась более компактной, предполагают первоначально, что один из узлов, ближайших к середине, напр., узел G , неподвижен, а направление одного из элементов, выходящих из этого узла,

например элемента GF , предполагают постоянным. Затем строим перемещение точки F' , откладывая отрезок $\Delta S_{gf} = g'f'$ параллельно GF . Зная теперь перемещение точки G , принятое равным нулю, и точки F' , равное $g'f'$, строим перемещение точки C , для чего из f' откладываем отрезок ΔS_{gc} , равный и параллельный приращению длины стержня FC , и из точки g' отрезок ΔS_{gc} , равный и параллельный приращению длины стержня GC . Из концов этих отрезков восстанавливаем перпендикуляры, точка пересечения которых c' определит отрезок $g'c'$, равный по величине и



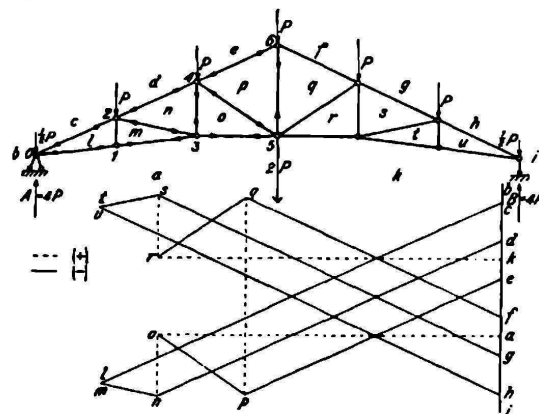
Фиг. 12.

направлению перемещению точки C . Имея теперь на диаграмме точки, соответствующие перемещениям точек C и F , строим перемещение точки D , и т. д. При этом окажется, что благодаря сделанному нами предположению о неподвижности узла G и направлении стержня GF опоры точки A и E сместятся с опор и займут положение A' и E' . Чтобы совместить эти узлы с опорами, надо дать всей ферме поступательное движение до совмещения точек A' и A и вращательное движение до совмещения точки E' с плоскостью подвижности правой опоры. Истинные перемещения узлов при этом окажутся равными геометрической сумме перемещений, найденных в предположении неподвижности узла G , и перемещений от поступательного и вращательного движений фермы в целом. Эти геометрические суммы можно построить следующим образом. Из точки e' проводим прямую, параллельную направлению возможного перемещения узла E , т. е. горизонтальную прямую, и из точки a' проводим прямую, перпендикулярную этой прямой; точку пересечения этих двух прямых обозначаем через e'' . На отрезке $a'e''$ строим фигуру, подобную чертежу фермы, но повернутую на 90° , и обозначаем узлы теми же буквами, что и на чертеже фермы, но с двумя значками. Отрезки между двумя одинаковыми бук-

вами и будут равны по величине и направлению действительным перемещениям соответствующих узлов, при чем направление этого перемещения будет от точки с двойным значком к точке с одиночным значком. Построение Виллио, обладая тем преимуществом, что сразу в одном построении получаются полные перемещения узлов, все же сравнительно реже применяется в русской практике, чем метод упругих грузов. Объясняется это тем, что в этом способе неизбежно накопление чертежных ошибок и результаты могут получиться с значительными погрешностями. Во Франции, однако, применяют преимущественно диаграмму Виллио.

Лит.: Прокофьев Н. П., Теория сооружений, ч. 3, Москва, 1928; Симиянский Р. К., Строительная механика, ч. 2, Киев, 1927; Тимошенко С. П., Курс статистики сооружений, ч. 1, изд. 2, Л., 1926; Мюллер-Бреслау Г., Графич. статика сооружений, т. 2, пер. с нем., СПб., 1910-13; Müller-Breslau H., Die Grafische Statik d. Baukonstruktionen, B. 1, Leipzig, 1922; Pirllet J., Kompendium d. Statik d. Baukonstruktionen, B. 2, T. 1, Berlin, 1921; Land, Kinematische Theorie d. Statik bestimmt. Träger, «Ztschr. d. Oesterr. Ing.-u. Arch.-Ver.», Wien, 1888, p. 11, 162; Mohr, Beitrag z. Theorie d. Fachwerks, «Zeitschrift d. Arch.-u. Ing.-Ver. zu Hannover», 1875, p. 605; Williot, Notations pratiques sur la statique graphique, Publication. scientif. industrielles, P., 1877. Н. Шапонов.

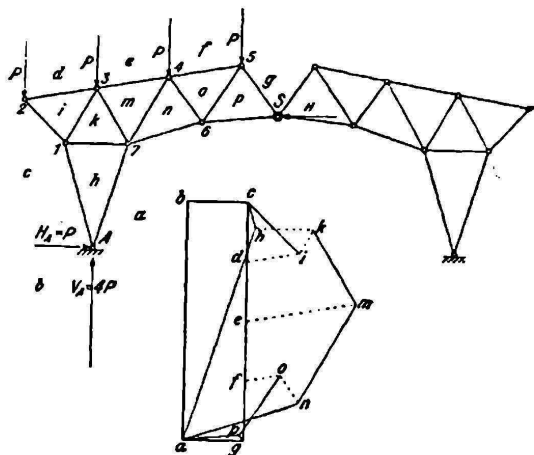
ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ в механических системах (фермах) основано на методах разложения равнодействующей на два или три направления, не пересекающиеся в одной точке. Наиболее распространен прием определения усилий путем построения диаграмм Кремона-Максвелла. Этот прием определения усилий основан на том, что если система находится в равновесии, то каждый из ее узлов находится в равновесии под действием усилий стержней, сходящихся в этом узле, и нагрузки, приложенной в нем. Это условие равновесия позволяет путем построения силового многоугольника для каждого узла определить равнодействующую нагрузки и известных усилий стержней, сходящихся в этом узле, и разложить ее на два новых неизвестных усилия стержней, примыкающих к этому узлу. Так как силы, пересекающиеся в одной



Фиг. 1.

точке (узле), могут быть разложены только по двум новым заданным направлениям, то отсюда вытекает, что последовательность перехода в системе от узла к узлу при определении усилий связана условием, чтобы в том

узле, в к-ром делается разложение сил, было не более двух неизвестных усилий стержней. Из этого же условия вытекает, что определение усилий надо начинать с рассмотрения тех узлов, в которых сходятся только 2 стержня. Особенность построения диаграммы Крэмона-Максвелла заключается в том, что указанное выше разложение усилий в узлах проводится на одном плане сил. При построении диаграммы придерживаются следующего порядка: 1) многоугольники, образованные стержнями системы и нагрузками, обозначают буквами или цифрами, что облегчает порядок построения; 2) строят силовой мн-к внешних нагрузок, в том числе и опорных реакций, строго придерживаясь

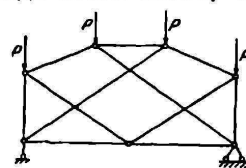


Фиг. 2.

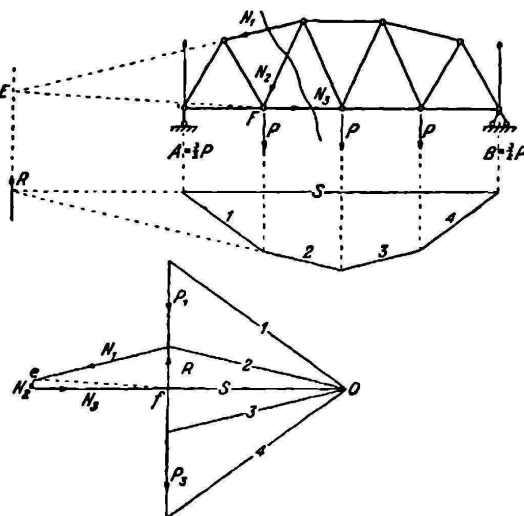
порядка положения их по контуру системы; 3) переходят к разложению нагрузок и усилий по отдельным узлам, производя это разложение в том же порядке обхода каждого узла, в каком производилось построение силового мн-ка внешних нагрузок. Построение диаграммы усилий начинают с узлов, в которых сходятся только 2 стержня, и последовательно переходят к узлам, в к-рых остается не более 2 неизвестных усилий в стержнях. На фиг. 1 построение плана сил (диаграммы) для простой стропильной фермы начато с узла 0, затем последовательно сделан переход к узлам 1, 2, 3, 4, 6 и 5. Сама диаграмма усилий представляет объединение силовых мн-ков усилий в каждом узле, стороны к-рых параллельны стержням системы, сходящимся в этом узле. Стороны этих мн-ков, ограничиваемые буквами или цифрами, между к-рыми лежит стержень в системе, определяют собой величину усилия этого стержня в масштабе силового мн-ка. Знак усилия определяется направлением течения усилий в силовом мн-ке в порядке его замыкания с отнесением этого направления на стержень системы; если это направление на стержне системы будет направлено к узлу, то усилие стержня будет сжимающим, если оно направлено от узла, — растягивающим. Большое преимущество определения усилий при помощи диаграммы заключается в том, что она в конечном результате, т. е. в результате построения ее для всей системы, должна замкнуться без разрыва. Это свойство служит проверкой правильности са-

мого построения и определения усилий. Так как графич. построение мн-ков не является абсолютно точным и в конечном результате разрыв диаграммы всегда имеет место, то построение считается выполненным удовлетворительно, если разрыв не превосходит 1% величины усилий.

На фиг. 2 показано построение диаграммы Крэмона для трехшарнирной арочной фермы, при чем построение приходится вести от двух узлов А и 2, в виду невозможности последовательного перехода через узлы 1, 7 и 3. Если система такова, что в ней нет узлов с 2 стержнями (фиг. 3), от к-рых можно было бы начать построение диаграммы, или если в процессе последовательного разложения пришлось бы столкнуться с узлами, в к-рых более двух неизвестных усилий, то возможность построения диаграммы Крэмона обеспечивается тем, что усилие одного из стержней, входящих в узел, препятствующий дальнейшему построению, определяется аналитически, принимается как бы за внешнюю силу и в таком виде вводится в силовой мн-к. Способ Кульмана в принципе основан на разложении равнодействующей R (фиг. 4) внешних сил на три направления, пересекаемые разрезом. Величина и направление равнодействующей определяются силовым мн-ком; точка приложения ее определяется пересечением крайних сторон веревочного мн-ка, соответствующих рассматриваемому разрезу (фиг. 4, стороны 2 и 3). Полученная из этих построений равнодействующая R разлагается на три направления N_1 , N_2 и N_3 пересеченных стержней. Это разложение



Фиг. 3.



Фиг. 4.

делается, как известно, при помощи вспомогательного направления ef и проводится обычно на силовом мн-ке. Этот прием удобоприменим в тех случаях, когда нагрузка расположена только справа от разреза; в этом случае слева от разреза будет иметь место только опорная реакция фермы, точка приложения которой известна. Циммерман