

Э. Ф. КОРНЕВИЦ

Г. В. ЭНДЕР

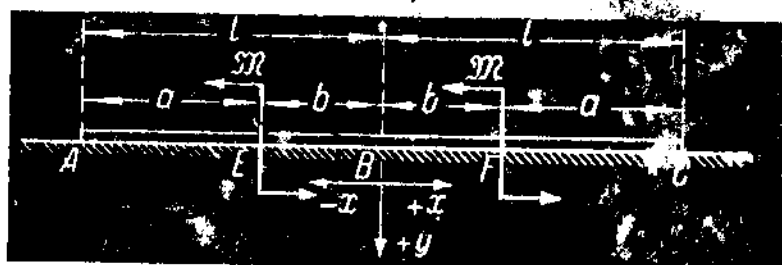
624.04 1558
К-67

ФОРМУЛЫ

ДЛЯ РАСЧЕТА БАЛОК

НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

62563



ГОССТРОИЗДАТ

1932

624.04
K-67

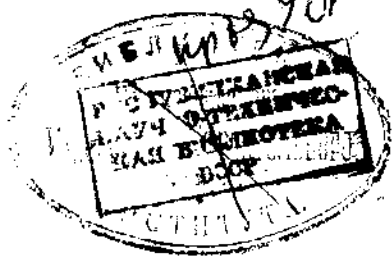
Э. Ф. КОРНЕВИЦ и Г. В. ЭНДЕР
Инженеры путей сообщения

О Д Е П

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
ВССР

ФОРМУЛЫ

ДЛЯ РАСЧЕТА БАЛОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ



НКТП СССР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СТРОИТЕЛЬНОЙ
ИНДУСТРИИ И СУДОСТРОЕНИЯ
344 5-75 Г. ГОССТРОЙИЗДАТ.
ЛЕНИНГРАД 1939

МОСКВА

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
ВССР

МАШИНА
ЗАПЧАСТЫ
АВТОМОБИЛЯ



МАШИНА
ЗАПЧАСТЫ
АВТОМОБИЛЯ

МАШИНА
ЗАПЧАСТЫ
АВТОМОБИЛЯ

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Предлагаемая книга имеет целью дать практическое руководство инженерам-строителям при решении задач, связанных с расчетами балок, лежащих на упругом основании и при составлении проектов фундаментов капитальных сооружений, с учетом упругих свойств грунтов основания.

Задача расчета балок на упругом основании, составляя один из наиболее сложных отделов строительной механики, принадлежит одновременно к весьма распространенной отрасли инженерной практики. За последние годы этому вопросу уделяется большое внимание, и техническая литература обогатилась целым рядом исследований, стремившихся так или иначе упростить практическое применение теории упругости к расчету балок на упругом основании.

Настоящая книга, будучи практическим руководством, не имеет в виду подробно знакомить читателя с теоретическими основами многочисленных методов расчета балок на упругом основании, а дает окончательные расчетные формулы, определяющие величины элементов деформации балки для различных, наиболее часто встречающихся на практике, расчетных схем.

Формулы составлены на основах метода, предложенного инж. Фрейндом при решении им простейших расчетных схем балок постоянного сечения, свободно лежащих на упругом основании. В настоящей книге, кроме схем свободно лежащих балок, включены схемы балок, опертых или защемленных по концам, и балок, состоящих из двух участков с различными моментами инерции; кроме того здесь приведены более сложные расчетные схемы балок, состоящих из нескольких частей с конечными и бесконечно большими моментами инерции, связанных между собою жесткими или шарнирными соединениями. Последние схемы соответствуют некоторым широко распространенным в строительной практике сооружениям, как, например, подпорным стенкам с консольными выступами фундаментов, сплошным днищам судовых шлюзов, сухим докам и т. п.

Все расчетные формулы выведены в общем виде, что в отношении сложных схем оказалось практически возможным благодаря применению предложенного авторами способа составления основных уравнений. В таком виде все формулы применимы для любых размеров балок или сооружений и различных упругих свойств основа-

ний. Пользование готовыми формулами в большинстве случаев исключает необходимость предварительного ознакомления со сложными методами расчета балок на упругом основании, сводя расчет к ряду простейших арифметических вычислений. В целях ознакомления читателя с наиболее простым способом применения готовых расчетных формул в книге приведены численные примеры расчета балок и сооружений, возводимых на упругом основании.

Для упрощения вычислительной работы приведены таблицы функций, наиболее часто входящих в расчетные формулы. Эти таблицы частично заимствованы из трудов инж. Фрейнда и проф. Хаяси, другая часть составлена вновь. За участие в составлении последней части таблиц приносим благодарность З. Е. Корневиц.

Настоящая книга была подготовлена к печати в 1930 г., однако вследствие технических затруднений издание книги задержалось до 1932 г.

*З. Корневиц.
Г. Эндер.*

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Предисловие	3
Графическая таблица расчетных схем	7
ЧАСТЬ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЧИСЛЕННЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА БАЛОК, ЛЕЖАЩИХ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ.	
Глава I. Теоретические основы расчета балок, лежащих на упругом основании.	
§ 1. Введение	19
§ 2. Основы точного способа расчета балок, лежащих на упругом основании. Метод Фрейнда	22
§ 3. О величине коэффициента упругой податливости основания	26
Глава II. Численные примеры расчета балок, лежащих на упругом основании.	
§ 4. Пример расчета короткой балки, свободно лежащей на упругом основании и нагруженной одной сосредоточенной силой	28
§ 5. Пример расчета короткой балки, свободно лежащей на упругом основании и нагруженной двумя моментами	35
§ 6. Пример расчета длинной балки, свободно лежащей на упругом основании и нагруженной двумя моментами	39
§ 7. Пример расчета балки, лежащей на упругом основании, опертой по концам и нагруженной распределенной нагрузкой, изменяющейся по линейному закону	42
§ 8. Пример расчета балки, лежащей на упругом основании и состоящей из двух участков различной жесткости при нагрузке ее сосредоточенной силой	47
§ 9. Пример расчета сухого дока на упругом основании	58
ЧАСТЬ II. ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА БАЛОК, ЛЕЖАЩИХ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ.	
(см. графическую таблицу расчетных схем, стр. 7).	
Глава III. Балки с постоянным моментом инерции.	
§ 10. Обозначения и подстановки, принятые в формулах главы III	73
§ 11. Балки, свободно лежащие по всей длине	78
А. Балки короткие (схемы 1 до 27).	
Б. Балки длинные (схемы 28 до 47).	

§ 12. Балки с неподвижной опорой на одном конце (схемы 48 до 59).	128
§ 13. Балки с неподвижными опорами на обоих концах (схемы 60 до 76).	144
§ 14. Балки, защемленные на одном конце (схемы 77 до 88).	168
§ 15. Балки, защемленные на обоих концах (схемы 89 до 105).	185
§ 16. Балки с неподвижной опорой на одном конце и защемленные на другом (схемы 106 до 115).	210

Глава IV. Балки со ступенчатым изменением момента инерции.

§ 17. Обозначения и подстановки, принятые в формулах главы IV.	225
§ 18. Балки, состоящие из двух жестко связанных между собою участков с различными конечными величинами моментов инерции (схемы 116 до 134).	231
§ 19. Балки, состоящие из двух или трех жестко связанных между собою участков с конечными и бесконечно большими величинами моментов инерции (схемы 135 до 144).	251
§ 20. Балки, состоящие из двух или трех шарнирно-связанных между собою участков с конечными и бесконечно большими величинами моментов инерции (схемы 145 до 155).	273

ЧАСТЬ III. ТАБЛИЦЫ ЧИСЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИЙ, ВХОДЯЩИХ В РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ.

§ 21. Таблицы круговых и гиперболических функций $\cos \varphi$, $\sin \varphi$ и $\cos h \varphi$, $\sin h \varphi$ для аргументов от $\varphi = 0$ до $\varphi = 10,00$.	298
§ 22. Таблицы функций C_{φ} , C'_{φ} , C''_{φ} , C'''_{φ} , для аргументов от $\varphi = 0$ до $\varphi = 6,28$.	321
§ 23. Таблицы функций E_{φ} , E'_{φ} , E''_{φ} , E'''_{φ} , для аргументов от $\varphi = 0$ до $\varphi = 7,00$.	335
§ 24. Таблицы функций N , U , V , W для аргументов от $\lambda = 0$ до $\lambda = 2,50$.	337
§ 25. Таблицы функций n , u , v , w для аргументов от $\lambda = 0$ до $\lambda = 2,50$.	342
Литература.	347

ГРАФИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА РАСЧЕТНЫХ СХЕМ.

Условные обозначения:



Короткая балка, свободно лежащая на упругом основании.



Длинная балка, свободно лежащая на упругом основании.



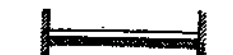
Балка с неподвижной опорой на одном конце (расположенной снизу или сверху).



Балка с неподвижными опорами на обоих концах (расположенными снизу или сверху).



Балка, защемленная на одном конце.



Балка, защемленная на обоих концах.



Балка с неподвижной опорой на одном конце и защемленная на другом.



Балка, состоящая из двух жестко связанных участков с различными конечными величинами моментов инерции.



Балка, состоящая из нескольких жестко связанных участков с конечными и бесконечно большими ¹⁾ величинами моментов инерции.



Балка, состоящая из нескольких шарнирно связанных участков с конечными и бесконечно большими ²⁾ величинами моментов инерции.



Сосредоточенная сила.



Момент.



Равномерно распределенная нагрузка.



Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону (возрастающая или убывающая).



Сосредоточенная сила и момент, к которым приводятся любые внешние нагрузки, приложенные к жесткому участку балки.



Координатная система.

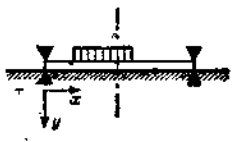
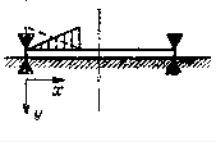
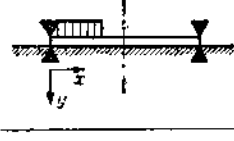
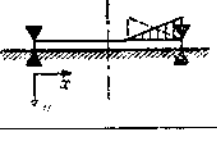
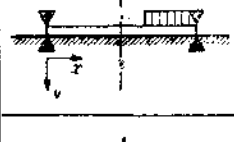
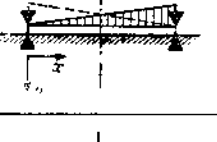
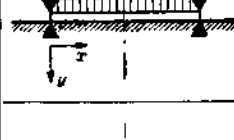
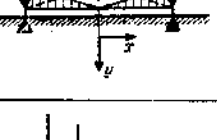
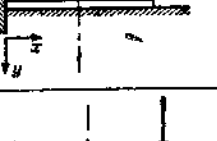
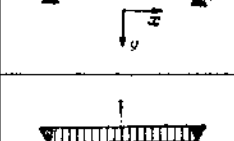
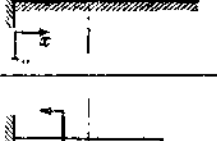
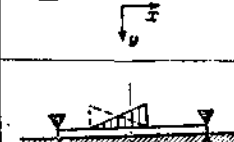
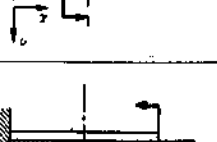
¹⁾ — ²⁾ Под участками балки, имеющими бесконечно большой момент инерции, следует понимать также жесткие участки, для которых $\lambda < 0,4$ (см. § 2, стр. 25).

Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.	Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.
	1	III	11 A	78		9	III	11 A	84
	2	III	11 A	79		10	III	11 A	85
	3	III	11 A	79		11	III	11 A	86
	4	III	11 A	80		12	III	11 A	87
	5	III	11 A	81		13	III	11 A	88
	6	III	11 A	82		14	III	11 A	89
	7	III	11 A	83		15	III	11 A	90
	8	III	11 A	84		16	III	11 A	92

Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.	Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.
	17	III	11 А	93		25	III	11 А	104
	18	III	11 А	94		26	III	11 А	106
	19	III	11 А	95		27	III	11 А	108
	20	III	11 А	96		28	III	11 Б	109
	21	III	11 А	97		29	III	11 Б	109
	22	III	11 А	99		30	III	11 Б	110
	23	III	11 А	101		31	III	11 Б	110
	24	III	11 А	103		32	III	11 Б	111

Графическое изображение схемы *	№ схемы	Глава	§	Стр.	Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.
	33	III	11 Б	112		41	III	11 Б	118
	34	III	11 Б	112		42	III	11 Б	119
	35	III	11 Б	113		43	III	11 Б	120
	36	III	11 Б	113		44	III	11 Б	121
	37	III	11 Б	114		45	III	11 Б	123
	38	III	11 Б	115		46	III	11 Б	125
	39	III	11 Б	117		47	III	11 Б	127
	40	III	11 Б	118		48	III	12	128

Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.	Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.
	49	III	12	129		57	III	12	139
	50	III	12	130		58	III	12	141
	51	III	12	131		59	III	12	143
	52	III	12	132		60	III	13	144
	53	III	12	134		61	III	13	145
	54	III	12	135		62	III	13	146
	55	III	12	136		63	III	13	147
	56	III	12	137		64	III	13	148

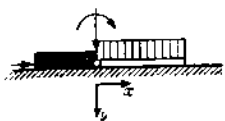
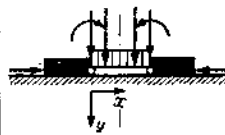
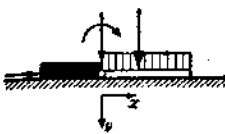
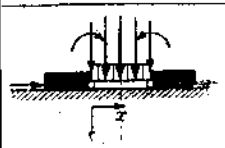
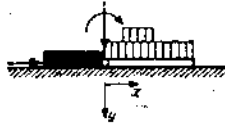
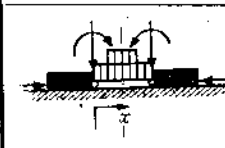
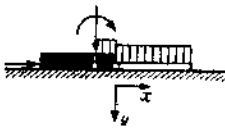
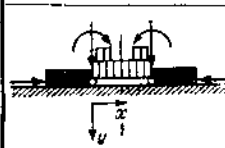
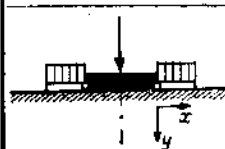
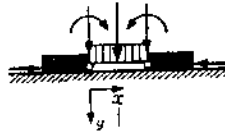
Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.	Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.
	65	III	13	149		73	III	13	162
	66	III	13	151		74	III	13	164
	67	III	13	152		75	III	13	166
	68	III	13	153		76	III	13	167
	69	III	13	154		77	III	14	168
	70	III	13	156		78	III	14	169
	71	III	13	158		79	III	14	170
	72	III	13	159		80	III	14	171

Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.	Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.
	81	III	14	172		89	III	15	185
	82	III	14	174		90	III	15	186
	83	III	14	175		91	III	15	187
	84	III	14	176		92	III	15	189
	85	III	14	177		93	III	15	190
	86	III	14	180		94	III	15	192
	87	III	14	182		95	III	15	194
	88	III	14	184		96	III	15	195

Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.	Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.
	97	III	15	196		105	III	15	209
	98	III	15	197		106	III	16	210
	99	III	15	199		107	III	16	211
	100	III	15	201		108	III	16	212
	101	III	15	202		109	III	16	214
	102	III	15	204		110	III	16	215
	103	III	15	206		111	III	16	216
	104	III	15	208		112	III	16	217

Графическое изображение схемы	№ схем	Глава	§	Стр.	Графическое изображение схемы	№ схем	Глава	§	Стр.
	113	III	16	220		121	IV	18	237
	114	III	16	222		122	IV	18	238
	115	III	16	224		123	IV	18	239
	116	IV	18	231		124	IV	18	240
	117	IV	18	233		125	IV	18	241
	118	IV	18	234		126	IV	18	242
	119	IV	18	235		127	IV	18	243
	120	IV	18	236		128	IV	18	244

Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.	Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.
	129	IV	18	245		137	IV	19	255
	130	IV	18	246		138	IV	19	257
	131	IV	18	247		139	IV	19	259
	132	IV	18	248		140	IV	19	261
	133	IV	18	249		141	IV	19	263
	134	IV	18	250		142	IV	19	266
	135	IV	19	251		143	IV	19	268
	136	IV	19	253		144	IV	19	271

Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.	Графическое изображение схемы	№ схемы	Глава	§	Стр.
	145	IV	20	273		151	IV	20	286
	146	IV	20	275		152	IV	20	288
	147	IV	20	277		153	IV	20	291
	148	IV	20	280		154	IV	20	293
	149	IV	20	282		155	IV	20	296
	150	IV	20	284					

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
БССР

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
БССР

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЧИСЛЕННЫЕ ПРИМЕРЫ
РАСЧЕТА БАЛОК, ЛЕЖАЩИХ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА БАЛОК, ЛЕЖАЩИХ НА
УПРУГОМ ОСНОВАНИИ.

§ 1. Введение.

Под упругостью тела понимают его свойство — восстанавливать свою первоначальную форму, изменившуюся под действием внешних сил. Предположение, что строительный грунт обладает свойствами упругого тела, способного испытывать деформации, пропорциональные действующим нагрузкам, создало основную предпосылку для развития теории расчета балок, лежащих на упругом основании. Эта предпосылка в некоторой степени нашла подтверждение в произведенных в последнее время опытных испытаниях свойств грунтов и их деформации под влиянием внешних нагрузок ¹⁾. Однако результаты этих опытов показали, что предположение об однородной упругой податливости грунта не всегда является достаточным для учета всех факторов, влияющих на процесс осадки сооружения и на характер получаемой при этом кривой изогнутой оси фундамента.

При небольших площадях передачи давления на грунт основания существенную роль на форму кривой просадки оказывает характер перемещения частиц грунта в крайних сечениях балки, отличающийся от среднего участка. В последнем случае балка даже и при равномерной нагрузке по всей длине может получить прогиб в ту или иную сторону, в зависимости от свойств грунта в основании.

Влияние условий перемещения грунта на концах балки, обнаруженное опытными исследованиями, до сего времени не учитывалось в теории расчета балок, лежащих на упругом основании, так как это влияние пока еще не получило математического выражения. Кроме того нарушение равномерности просадки балки по всему ее протяжению оказывается существенным при небольшой абсолютной длине балки, что как раз соответствует условиям опытных исследований. В действительности мы почти всегда имеем дело с большими площадями фундаментов сооружений при сравнительно незначительных единичных давлениях на основание; в этих условиях влияние

¹⁾ К. Terzaghi. *Erdbaumechnik*, 1925; Шейдиг. *Новейшие исследования грунтов*, 1931.

особенностей просадки грунта в концевых частях сооружения становится незначительным.

Тем не менее влияние концевых условий, по выявлении их закономерности, может быть учтено, пользуясь приведенными здесь формулами, путем введения в расчет балки дополнительных схем нагрузки, выражающих собою влияние концевых условий.

Метод, учитывающий влияние этих факторов на изгиб балки, еще более приблизит теорию расчета балок, лежащих на упругом основании, к существующим в действительности законам распределения давлений по основанию сооружений ¹⁾.

Начало теории расчета балок на упругом основании было положено классическими работами Винклера ²⁾ и Шведлера, ³⁾ получившими дальнейшую проработку в труде Циммермана ⁴⁾. Однако с самого возникновения этой теории она отличалась большой сложностью, затруднявшей практическое ее применение вследствие необходимости предварительного ознакомления с основами теории упругости, а в дальнейшем — составления и решения, в каждом частном случае, подчас весьма сложной системы уравнений. Между тем настоятельная необходимость в создании достаточно точной и вместе с тем простой формы расчета сооружений, с учетом упругих свойств основания, вызвала появление как у нас, так и за границей большого количества теоретических исследований в этой области. Общая цель этих исследований — нахождение способов, упрощающих практическое применение метода расчета балок на упругом основании, достигалась отдельными исследователями различными путями. Известные способы расчета фундаментов, созданные Франциусом ⁵⁾ и Бреннеке, ⁶⁾ дали большое упрощение при составлении расчетных формул вследствие допущения предпосылок о законе распределения давлений на грунт по основанию сооружения, не вполне отвечающих действительности. Эти способы при сравнении с точным методом дают в некоторых случаях значительные расхождения, вследствие чего они могут с пользой применяться лишь для первых приближенных расчетов и притом с достаточной осторожностью. ⁷⁾

Более поздние исследователи подходили к упрощению методов

¹⁾ Этот вопрос исследуется в Госуд. научно-исследов. инст. гидротехники.

²⁾ E. Winkler. Die Lehre von der Elasticität und Festigkeit, 1867.

³⁾ I. Schwedler. Статья в „Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers“, 1882.

⁴⁾ H. Zimmermann. Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues, 1888.

⁵⁾ O. Franzius. Über die Berechnung von Trockendocks, „Zeitschrift für Bauwesen“, 1908.

⁶⁾ L. Brennecke. Grundbau, 1906.

⁷⁾ Проф. Б. Н. Жемочкин в своей статье „К вопросу о расчете сухих доков“, помещенной в „Трудах московского института инженеров транспорта“, приводит расчетную схему дока, по которой метод Франциуса дает по сравнению с точным методом уменьшение величины изгибающего момента по середине плиты в 162 раза, с переменной знака.

составления расчетных уравнений не за счет уменьшения точности расчетов, а путем более простого математического подхода к решению основного дифференциального уравнения изогнутой оси балки.

В технической литературе известно несколько точных методов, давших то или иное упрощение в решении задачи. Некоторые из этих методов изложены в трудах профессоров Тимошенко, Пузыревского, Хаяси, академика Крылова, инженеров Клишевича, Дутова, Фрейнда, Пастернака и др. ¹⁾

Однако, несмотря на значительные упрощения, достигнутые в некоторых из этих методов, они все же остаются практически мало применимыми, так как составителям проекта приходится предварительно знакомиться с принятым методом расчета в целом, а затем составлять и решать системы уравнений, заключающие в себе в лучшем случае два неизвестных. Эта работа требует иногда значительного количества времени и при срочности исполнения проекта часто приводит к отказу от применения точного метода расчета за счет меньшей уверенности в рациональности проектируемой конструкции.

В последнее время инж. Фрейндом опубликован способ расчета балок на упругом основании, который вследствие остроумных подстановок дает весьма простой вид расчетных уравнений. Ценность работы этого автора заключается в том, что он впервые выдвинул идею создания готовых расчетных формул, наподобие широко применяемых в других областях строительной механики, например при расчете жестких рам. ²⁾ Однако Фрейндом опубликовано сравнительно небольшое количество расчетных формул и притом для наиболее простых схем балок постоянного сечения, свободно лежащих на упругом основании.

При наличии более сложных схем сооружений, как например шлюзов, доков и т. п., готовые расчетные формулы, выведенные для простых схем, могли бы быть использованы путем суммирования величин элементов деформации, возникающих от действия отдельных сил или моментов и определяемых формулами простых схем. Однако в этом случае вычисления получились бы довольно громоздкими, так как расчет должен повторяться столько раз, сколько сил приложено к рассматриваемой балке.

Дальнейшим этапом упрощения расчета сооружений на упругом основании является, с одной стороны, опубликование расчетных формул для возможно большего количества практически встречаю-

¹⁾ С. Тимошенко. Курс сопротивления материалов, 1911. Kellisch Hayashi. Theorie des Trägers auf elastischer Unterlage, 1921. Н. Пузыревский. Расчеты фундаментов, 1923. А. Freund. Статьи в „Zeitschrift für Bauwesen“, 1918, 1924, 1927. Р. Pasternak. Статьи в „Beton und Eisen“, 1926. Г. Клишевич. Статья в „Строительной промышленности“, 1927. Г. Дутов. Расчет балок на упругом основании, 1929. А. Крылов. О расчете балок, лежащих на упругом основании, 1930.

²⁾ Kleinlogel. Rahmenformeln.

щихся схем нагрузок балок постоянного сечения, включая свободно лежащие, опертые и заделанные по концам балки; с другой стороны — вывод готовых расчетных формул для более сложных схем балок со ступенчатым изменением момента инерции, не требующих суммирования частных результатов и непосредственно применяемых при расчете наиболее распространенных схем сооружений. Последнее упрощение по мере возможности выполнено в настоящем труде.

§ 2. Основы точного способа расчета балок, лежащих на упругом основании. Метод Фрейнда.

В основу точного способа расчета балок, лежащих на упругом основании, положено допущение, что упругая осадка в рассматриваемом сечении балки пропорциональна давлению в этом сечении и, что основание, на котором лежит балка, может испытывать как сжимающие, так и растягивающие напряжения, т. е. балка считается связанной с основанием.¹⁾

Пусть невесомый стержень, лежащий на упругом основании, прогибается под действием внешних сил, причем в некоторой точке, отстоящей на величину x от произвольно выбранного начала координат, прогиб упругой линии имеет величину y . Тогда реакция на единицу площади основания в точке x принимается равной

$$p = k \cdot y, \quad [1]$$

где k — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом упругой податливости основания, или в отношении грунтов — коэффициентом оседания основания.

Выраженная в кг/см^2 величина k показывает, сколько килограммов должно быть нагружено на 1 см^2 основания, чтобы оно получило осадку в 1 см .

Если балка, кроме внешних нагрузок, имеет собственный вес $g \text{ кг/см}^2$, то величина реакции в точке x определится из выражения

$$p = g + ky. \quad [2]$$

В отношении оснований из грунта, выражения [1] и [2] нельзя считать абсолютно точными, так как степень осадки зависит не только от удельного давления, но еще и от абсолютной величины приложенной силы, времени, абсолютной величины площади, передающей нагрузку, и ее отношения к периметру, глубины заложения фундамента и пр.

¹⁾ В случае применения теории к расчету балки, лежащей на сжимаемом грунте, получение отрицательных величин напряжений в грунте, которые в действительности не могут иметь места, показывает на необходимость изменения размеров сечения балки или пересчета ее по схеме балки, опертой не по всей длине.

При столь сложной зависимости осадки от разнородных факторов, уточнение выражения для величины k сильно усложнило бы расчеты и привело бы к неизбежным ошибкам. Поэтому практически целесообразнее ограничиться формулами вида [1] и [2], так как при незначительных величинах давлений, с которыми обычно приходится иметь дело, они приводят к достаточно точным результатам.

Из теории сопротивления материалов известно, что тангенс угла наклона нейтральной линии балки к горизонту, изгибающий момент и перерезывающая сила в точке x , имеющей величину прогиба y , выражается соответственно уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \nu &= \pm \frac{dy}{dx}, \\ M &= -EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}, \\ Q &= \pm EI \cdot \frac{d^3 y}{dx^3}, \end{aligned} \right\} \quad [3]$$

где E — модуль упругости материала балки,

I — момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной оси.

Величины, определяемые выражениями [1], [2] и [3], характеризуют деформацию балки, изгибающейся под влиянием внешних сил, поэтому для простоты назовем их условно элементами деформации балки.

Для определения величин элементов деформации в каком-либо сечении балки x достаточно найти выражение величины прогиба балки y в том же сечении.

Величина y определяется из уравнения изогнутой оси балки, которое по Шведлеру имеет следующий общий вид:

$$y = (A_1 e^{\varphi} + B_1 e^{-\varphi}) \cos \varphi + (C_1 e^{\varphi} + D_1 e^{-\varphi}) \sin \varphi. \quad [4]$$

В последнем выражении — величины A_1 , B_1 , C_1 и D_1 — произвольные постоянные интегрирования:

$$\varphi = x \sqrt{\frac{k \cdot d}{4EI}} = xm, \text{ где } m = \sqrt{\frac{k \cdot d}{4EI}}.$$

Величину m , зависящую от величины коэффициента оседания k , ширины балки d , измеряемой перпендикулярно к плоскости чертежа, модуля упругости E материала балки и момента инерции I балки, назовем коэффициентом измерителя жесткости балки.

Уравнение упругой линии вида [4] неудобно для практического применения, в особенности в отношении балок конечного протяжения,

Заменяя показательные функции e^{φ} функциями гиперболическими вида:

$$\left. \begin{aligned} \cosh \varphi &= \frac{e^{\varphi} + e^{-\varphi}}{2}, \\ \sinh \varphi &= \frac{e^{\varphi} - e^{-\varphi}}{2}, \end{aligned} \right\} \quad [5]$$

получим более удобный вид уравнения упругой линии:

$$y = A_2 \cosh \varphi \cos \varphi + B_2 \sinh \varphi \cos \varphi + C_2 \cosh \varphi \sin \varphi + D_2 \sinh \varphi \sin \varphi, \quad [6]$$

где A_2 , B_2 , C_2 и D_2 — произвольные постоянные интегрирования.

Не ограничиваясь подстановками вида [5], Фрейнд в своих последних исследованиях предложил дальнейшее упрощение задачи путем введения функций C_{φ} , полагая:

$$\left. \begin{aligned} C_{\varphi} &= \cosh \varphi \cos \varphi, \\ C'_{\varphi} &= \sinh \varphi \cos \varphi - \cosh \varphi \sin \varphi, \\ C''_{\varphi} &= -2 \sinh \varphi \sin \varphi, \\ C'''_{\varphi} &= -2 (\sinh \varphi \cos \varphi + \cosh \varphi \sin \varphi). \end{aligned} \right\} \quad [7]$$

При помощи этих подстановок уравнения для величин элементов деформации получили окончательно удобный для практического пользования вид:

$$\left. \begin{aligned} y &= AC_{\varphi} + BC'_{\varphi} + CC''_{\varphi} + DC'''_{\varphi}, \\ p = ky &= k(AC'_{\varphi} + BC''_{\varphi} + CC'''_{\varphi} + DC'''_{\varphi}), \\ \operatorname{tg} \nu &= \pm \frac{dy}{dx} = \pm m (AC'_{\varphi} + BC''_{\varphi} + CC'''_{\varphi} - 4DC_{\varphi}), \\ M &= -EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{kd}{4m^2} (AC''_{\varphi} + BC'''_{\varphi} - 4CC_{\varphi} - 4DC'_{\varphi}), \\ Q &= \pm EI \frac{d^3 y}{dx^3} = \pm \frac{kd}{4m} (AC'''_{\varphi} - 4BC_{\varphi} - 4CC'_{\varphi} - 4DC''_{\varphi}). \end{aligned} \right\} \quad [8]$$

В уравнениях [8] численные значения функций C_{φ} легко могут быть определены, пользуясь таблицами, составленными Фрейндом, в которых значения C_{φ} даны в зависимости от величины аргумента φ ¹⁾.

Постоянные интегрирования A , B , C и D , зависящие от размеров сечения и длины балки, свойств материалов балки и основания и коэффициента измерителя жесткости m , остаются постоянными лишь на участках балки, ограниченных особыми точками, т. е. точками приложения сосредоточенных сил, моментов, границами распределенных нагрузок, а также местами изменения сечения балки, свойств материала, величины коэффициента оседания и наличием добавочных закреплений, опор и шарниров, и притом лишь при постоянном значении коэффициента измерителя жесткости.

¹⁾ Таблицы функций C_{φ} , впервые опубликованные Фрейндом, в настоящей книге получили более широкие пределы. Эти таблицы составлены при помощи таблиц гиперболических функций проф. Хаяси.

Определение постоянных интегрирования в общем виде довольно сложно, в особенности при наличии большого количества особых точек; оно может быть произведено путем решения системы уравнений пограничных условий для особых точек.

Количество этих уравнений будет $4(n-1)$, где n — число особых точек.

При составлении уравнений для элементов деформации [8] принято следующее правило знаков: угол поворота сечения считается положительным, если он получен путем вращения в направлении против часовой стрелки; перерезывающая сила положительна, если она стремится поднять вверх часть балки, влево от рассматриваемого сечения. Поэтому в уравнениях [8], для $tg\psi$ и Q следует брать знак минус, если абсциссы слева направо считать положительными. При любом направлении оси абсцисс, реакция основания считается положительной, если она направлена вверх. Внешние сосредоточенные силы и распределенные нагрузки считаются положительными, если они направлены сверху вниз, а изгибающие моменты, — если они стремятся изогнуть балку выпуклостью в сторону положительных ординат.

В зависимости от численного значения величины

$$\lambda = l \cdot m, \quad [9]$$

где l — половина длины исследуемой балки, Фрейндр подразделяет все балки на три категории, которые он называет:

балками жесткими, если $\lambda < 0,4$,
балками короткими, если $\lambda > 0,6$, но < 2 ,
балками длинными, если $\lambda > 3$ до ∞ .

Если значение λ заключается между 0,4 и 0,6 или между 2 и 3, то в зависимости от требуемой точности вычислений балка может быть отнесена к высшей или низшей категории.

Величину λ назовем измерителем жесткости балки. Жесткая балка характеризуется тем, что эпюра давления на грунт от нее ограничена прямой линией, вследствие чего в этом случае для расчета можно применять известные формулы неравномерного сжатия. В случае короткой балки применимы формулы [8]. Для длинных балок Фрейндр дает еще большие упрощения в построении формул для элементов деформации, путем подстановки функций E_φ , полагая:

$$\left. \begin{aligned} E_\varphi &= C_\varphi - \frac{1}{2} C'_\varphi + \frac{1}{4} C''_\varphi, \\ E'_\varphi &= C'_\varphi - \frac{1}{2} C''_\varphi - C_\varphi, \\ E''_\varphi &= C''_\varphi - \frac{1}{2} C'''_\varphi - C'_\varphi, \\ E'''_\varphi &= C'''_\varphi + 2 C_\varphi - C''_\varphi. \end{aligned} \right\} \quad [10]$$

Для облегчения вычислительной работы Фрейнд дает таблицы величин E_φ для различных значений аргумента φ . Кроме таблиц функций C_φ и E_φ , он приводит в своем труде небольшие таблицы величин некоторых подстановок, наиболее часто входящих в расчетные формулы.¹

Пользуясь построением расчетных формул для элементов деформации [8], предложенных Фрейндом, в настоящем труде выведены готовые формулы для различных схем балок, причем основным упрощением является наличие выражений, определяющих в общем виде величины произвольных постоянных интегрирования A , B , C и D , благодаря чему необходимость составления и решения системы уравнений пограничных условий — наиболее трудной области при решении задач по расчету балок, лежащих на упругом основании, — вовсе отпадает.

§ 3. О величине коэффициента упругой податливости основания.

При практическом применении формул для расчета балок на упругом основании возникает вопрос о выборе значения коэффициента упругой податливости основания. К сожалению, до сего времени имеется сравнительно небольшое количество опытов по определению величин коэффициентов оседания для различных видов оснований.

В качестве оснований, практически чаще всего приходится иметь дело с грунтами, для которых величина коэффициента оседания может изменяться в довольно широких пределах.

При составлении проектов капитальных сооружений часто производят специальные исследования грунтов с целью установления величины коэффициента оседания для данного грунта.

В тех же случаях, когда определение величин коэффициентов оседания опытным путем является невозможным, приходится воспользоваться имеющимися данными опытов, произведенных с грунтами оснований уже возведенных сооружений. При этом следует иметь в виду, что некоторая неточность в назначении величины коэффициента оседания не столь существенно отражается на точности результатов расчета. Действительно, при рассмотрении выведенных расчетных формул оказывается, что в выражениях для величин элементов деформации коэффициент упругой податливости основания k входит под знак радикала четвертой степени. Таким образом, при ошибке в значении k даже на 100%, погрешность в определении величины коэффициента измерителя жесткости m составит только 20%.

¹) В настоящей книге приведены таблицы Фрейнда в значительно расширенном виде. Кроме того здесь приведены таблицы других подстановок, применяемых в этой книге.

Ниже приводится таблица ориентировочных данных о величинах коэффициентов упругой податливости оснований, составленная при помощи данных, опубликованных в технической литературе, а также заимствованных из результатов опытных испытаний грунтов на некоторых строениях в СССР.

Таблица коэффициентов упругой податливости оснований.

Общая характеристика основания	Материал основания	k в кг/см ²
Грунт малой плотности	Пыль Песок свежесыпанный Глина мокрая, размягченная	0,1 — 0,5
Грунт средней плотности	Песок слежавшийся, балластный Гравий насыпной Глина влажная	0,5 — 5
Грунт плотный	Песок плотно слежавшийся Гравий плотно слежавшийся Щебень Хряц Глина малой влажности	5 — 10
Грунт весьма плотный	Песчано-глинистый, искусственно уплотненный Глина твердая	10 — 20
Грунт твердый	Мягкая трещиноватая скала Известняк Песчаник Мерзлота	20 — 100
Грунт скалистый	Хорошая твердая скала	100 — 1 500
Искусственное основание	Свайное основание	5 — 15
Строительные материалы	Кирпич Бутовая кладка Бетон Железобетон	400 — 500 500 — 600 800 — 1 500 800 — 1 500

ЧИСЛЕННЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА БАЛОК, ЛЕЖАЩИХ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ.

Пользование готовыми расчетными формулами значительно облегчает задачу по расчету балок, лежащих на упругом основании, сводя ее к ряду простейших арифметических действий.

Для того чтобы показать читателю, как практически следует подходить к решению подобных задач, пользуясь расчетными формулами и таблицами, приведенными в настоящей книге и как произвести проверку правильности вычислений, здесь помещены несколько численных примеров расчета балок и сооружений, лежащих на упругом основании. Предварительное ознакомление с одним из примеров послужит для ускорения и рационализации техники расчетов.

§ 4. Пример расчета короткой балки, свободно лежащей на упругом основании и нагруженной одной сосредоточенной силой.

Армированная бетонная плита, имеющая высоту 6,00 м и размеры в плане 40,00 × 10,00 м, свободно лежит на основании из плотно слежавшегося песка и нагружена по сечению *аб*, отстоящему от левого края плиты на расстоянии 8,00 м, распределенной нагрузкой интенсивностью в 100,00 т пог. м, (фиг. 1 а, б). Требуется проверить величины давления на грунт и определить изгибающие моменты и перерезывающие силы для расчета железной арматуры.

Для простоты мысленно вырежем полосу плиты шириною в 1,00 м, сведя расчет к схеме балки, нагруженной сосредоточенной силой в 100,00 т (фиг. 1 в). По графической таблице схем (стр. 8) находим, что рассматриваемый случай соответствует схеме 1 § 11, (стр. 78) или 28 § 11 (стр. 109). Имеем следующие расчетные данные, буквенные обозначения для которых приведены в главе, соответствующей указанным выше расчетным схемам § 10 (стр. 74):

полная длина балки	$2l = 40,00$ м
полная ширина балки, расчетная	$d = 1,00$ "
полная высота балки	$h = 6,00$ "
расстояние точки приложения силы от левого края балки	$a = 8,00$ "
сосредоточенная сила	$P = 100,00$ т
модуль упругости бетона	$E = 2,1 \times 10^6$ т/м ²
удельный вес бетона	$\Delta = 2,30$ т/м ³
коэффициент оседания основания принимаем по данным таблицы § 3 (стр. 27)	$k = 6$ кг/см ² = 6000 т/м ² .

Для того, чтобы судить о том, к какой категории относится рассматриваемая балка в отношении ее жесткости, определим величину измерителя жесткости λ (см. § 2, стр. 25). Момент инерции балки $I = \frac{d \cdot h^3}{12} = \frac{1,00 \cdot 6,00^3}{12} = 18,00 \text{ м}^4$; коэффициент измерителя жесткости

$$m = \sqrt[4]{\frac{k \cdot d}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{6000 \cdot 1,00}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 18,00}} = 0,04463 \text{ м}^{-1},$$

$$\lambda = lm = \frac{40,000 \cdot 0,04463}{2} = 0,89.$$

Следовательно, можно написать неравенство

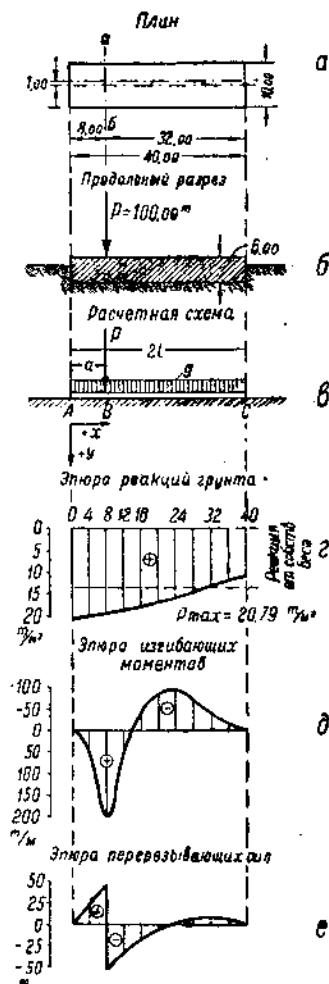
$$2,00 > \lambda = 0,89 > 0,60,$$

которое показывает, что рассматриваемая балка принадлежит к категории коротких; поэтому расчет балки производим по схеме 1 § 11 (стр. 78).

Следует напомнить, что формулы схемы 1-й определяют величины элементов деформации, вызванные сосредоточенной силой P , без учета влияния собственного веса балки. Последний можно рассматривать как равномерно распределенную нагрузку, расположенную по всей длине балки и равную весу балки, т. е. на пог. метр вырезанной полосы плиты имеем:

$$g = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 6,00 \cdot 2,30 = 13,80 \text{ т/м}^3.$$

Обращаясь к формулам схемы свободно лежащей балки, нагруженной на всем протяжении равномерно распределенной нагрузкой, т. е. к схеме 20-й § 11 (стр. 96), видим, что равномерно распределенная нагрузка не вызывает в свободно лежащей балке ни изгибающих моментов, ни перерезывающих сил. Величина реакции грунта от наличия



Фиг. 1.

$$P = g,$$

справедливой для всей длины балки.

Величину реакции грунта от собственного веса следует прибавить

вить к величине давления, определяемого по схеме 1-й от наличия сосредоточенной силы P .

Переходим к определению величины элементов деформации по схеме 1-й, для чего воспользуемся формулами для величин p , M и Q .

Найдем сначала численные величины произвольных постоянных A_1 , D_1 и A_2 , B_2 , C_2 , D_2 , входящих в формулы для элементов деформации, причем для большей точности расчета вычислим их значения с пятью десятичными знаками.¹⁾ Для этого по таблице § 24 (стр. 338) для аргумента $\lambda = 0,89$ найдем:

$$\begin{aligned} N &= 14,68208, \\ U &= 1,22420, \\ V &= 1,26069, \\ W &= 1,16884. \end{aligned}$$

Величины C_α , C'_α , C''_α , C'''_α можно было бы также определить по таблицам § 22 (стр. 321), полагая в данном случае аргумент $\varphi = \alpha = am = 8,00 \cdot 0,04463 = 0,36$. Однако, для получения пяти десятичных знаков, которых не дают таблицы, определим их значение по формуле [1] § 10 (стр. 75), найдя предварительно по таблице § 21 (стр. 299) численные значения круговых и гиперболических функций для того же аргумента $\alpha = 0,36$.

Имеем:

$$\begin{aligned} \cosh \alpha &= 1,06550, & \cos \alpha &= 0,93590, \\ \sinh \alpha &= 0,36783, & \sin \alpha &= 0,35227. \end{aligned}$$

Тогда получим:

$$\begin{aligned} C_\alpha &= \cosh \alpha \cos \alpha = 1,06550 \cdot 0,93590 = 0,99720, \\ C'_\alpha &= \sinh \alpha \cos \alpha - \cosh \alpha \sin \alpha = 0,36783 \cdot 0,93590 - 1,06550 \cdot \\ &\quad \cdot 0,35227 = -0,03109, \\ C''_\alpha &= -2 \sinh \alpha \sin \alpha = -2 \cdot 0,36783 \cdot 0,35227 = -0,25915, \\ C'''_\alpha &= -2 (\sinh \alpha \cos \alpha + \cosh \alpha \sin \alpha) = -2 (0,36783 \cdot 0,93590 + \\ &\quad + 1,06550 \cdot 0,35227) = -1,43918. \end{aligned}$$

Теперь имеем все данные для определения постоянных интегрирования:

$$\begin{aligned} A_1 &= 2UC_\alpha - C'_\alpha + \frac{1}{2} VC'''_\alpha = 2 \cdot 1,22420 \cdot 0,99720 + 0,03109 - \\ &\quad - 0,5 \cdot 1,26069 \cdot 1,43918 = 1,56545, \end{aligned}$$

¹⁾ Величины аргументов φ и λ берутся при этом с двумя знаками, так как пренебрежение третьим знаком равносильно весьма незначительному изменению длины балки или расположению сечения, практически совершенно не влияющих на абсолютные величины элементов деформации. Пять десятичных знаков в величинах N , U , V , W и произвольных постоянных интегрирования необходимы для соблюдения относительной точности, так как величины элементов деформации получаются в результате оперирования малыми разностями больших чисел.

$$\begin{aligned}
D_1 &= \frac{1}{2} VC_a - \frac{1}{4} C_a'' + \frac{1}{4} WC_a'' = 0,5 \cdot 1,26069 \cdot 0,99720 + 0,25 \cdot \\
&\quad \cdot 0,25915 - 0,25 \cdot 1,16884 \cdot 1,43918 = 0,27283, \\
A_2 &= 2UC_a + \frac{1}{2} VC_a'' = 2,44154 - 0,90718 = 1,53436, \\
B_2 &= -C_a = -0,99720, \\
C_2 &= -\frac{1}{4} C_a''' = 0,25 \cdot 1,43918 = 0,35980, \\
D_2 &= \frac{1}{2} VC_a + \frac{1}{4} WC_a'' = 0,62858 - 0,42054 = 0,20804.
\end{aligned}$$

Кроме постоянных интегрирования, в формулы для элементов деформации p , M и Q входят постоянные величины:

$$\begin{aligned}
\frac{Pm}{d} &= \frac{100,00 \cdot 0,04463}{1,00} = 4,46300, \\
-\frac{P}{m} &= \frac{100,00}{0,04463} = -2240,64531, \\
-P &= -100,00000.
\end{aligned}$$

Переходим к определению величин элементов деформации, т. е. в нашем случае реакций грунта p , изгибающих моментов M и перерезывающих сил Q . Эти величины определим для ряда точек по длине балки, количество которых следует выбрать в зависимости от желательной точности подбора арматуры. Назначим расстояние между точками — 4,00 м. Тогда для участка AB имеем три точки с абсциссами: 0, 4, 8 м, для участка BC — 9 точек с абсциссами: 8, 12, 16 м. и т. д. Весь дальнейший расчет удобно вести в приведенной здесь табличной форме (стр. 32):

В горизонтальном направлении таблица подразделяется на две части, соответственно двум участкам балки AB и BC .

В вертикальной графе 1-й приведены величины абсцисс рассматриваемых точек балки x от 0 до 40.

В графе 2-й определены величины аргумента $\varphi = xm$.

В графах 3-й до 6-й выписаны соответственно функции C_φ , C'_φ , C''_φ и C'''_φ для аргументов φ графы 2-й. Значения этих функций определены по таблицам § 22, (стр. 321).

В графе 7-й определена составляющая величина реакций грунта, зависящая от собственного веса балки.

В графах 8-й до 11-й определены отдельные слагаемые в формуле для величин реакций грунта p , представляющие собою результат произведения некоторого постоянного численного коэффициента на одну из функций граф 3-й до 6-й.

Например, в графе 8-й для участка балки AB выписываем первое слагаемое формулы для величины p , т. е.

$$\frac{P \cdot m}{d} A_1 C_\varphi = 4,46300 \cdot 1,56545 C_\varphi = 6,987 C_\varphi \text{ и т. д.}$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x	$\varphi = x^m$	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	g	$\frac{6,987}{C_\varphi}$	$\frac{0}{C'_\varphi}$	$\frac{0}{C''_\varphi}$	$\frac{1,218}{C'''_\varphi}$	$p \tau / m$
0	0	1,000	0	0	0	13,80	6,99	0	0	0	20,79
4	0,18	1,000	-0,004	-0,065	-0,720	13,80	6,99	0	0	-0,88	19,91
8	0,36	0,99720	-0,03109	-0,25915	-0,43918	13,80	6,97	0	0	-1,75	19,02
x	$\varphi = x^m$	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	g	$\frac{6,848}{C_\varphi}$	$\frac{-4,451}{C'_\varphi}$	$\frac{1,606}{C''_\varphi}$	$\frac{0,928}{C'''_\varphi}$	$p \tau / m$
8	0,36	0,99720	-0,03109	-0,25915	-1,43918	13,80	6,83	0,14	-0,42	-1,34	19,01
12	0,54	0,986	-0,105	-0,583	-2,154	13,80	6,75	0,47	-0,93	-2,00	18,09
16	0,71	0,958	-0,238	-1,005	-2,816	13,80	6,56	1,06	-1,61	-2,61	17,20
20	0,89	0,896	-0,469	-1,573	-3,486	13,80	6,14	2,09	-2,53	-3,23	16,27
24	1,07	0,782	-0,812	-2,256	-4,093	13,80	5,36	3,61	-3,62	-3,80	15,35
28	1,25	0,596	-1,287	-3,040	-4,594	13,80	4,07	5,73	-4,88	-4,25	14,47
32	1,42	0,329	-1,872	-3,851	-4,914	13,80	2,25	8,33	-6,18	-4,56	13,64
36	1,61	-0,102	-2,693	-4,799	-5,010	13,80	-0,70	11,99	-7,71	-4,65	12,73
40	1,78	-0,633	-3,581	-5,636	-4,769	13,80	-4,33	15,94	-9,05	-4,43	11,93

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0 C_{φ}	611,315 C'_{φ}	-879,172 C''_{φ}	0 C'''_{φ}	$M_{T.M}$	0 C_{φ}	0 C'_{φ}	27,283 C''_{φ}	-39,136 C'''_{φ}	$Q_{T.}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-2,45	57,15	0	54,70	0	0	-1,77	28,18	26,41
0	-18,95	227,71	0	208,76	0	0	-7,06	56,32	49,26
806,184 C_{φ}	466,145 C'_{φ}	-859,489 C''_{φ}	558,593 C'''_{φ}	$M_{T.M}$	-99,720 C_{φ}	35,980 C'_{φ}	20,804 C''_{φ}	-38,359 C'''_{φ}	$Q_{T.}$
804,57	-14,45	222,61	-803,82	208,88	-99,52	-1,12	-5,39	55,20	-50,83
794,90	-48,95	500,22	-1203,21	42,96	-98,32	-3,77	-12,11	82,63	-31,57
772,32	-110,94	863,79	-1573,00	-47,83	-95,53	-8,56	-20,91	108,02	-16,98
722,34	-218,62	1351,98	-1941,11	-85,41	-89,35	-16,87	-32,72	133,30	-5,64
630,44	-378,04	1939,87	-2286,88	-94,61	-77,98	-29,18	-46,95	157,04	2,93
479,68	-600,39	2612,85	-2555,00	-62,86	-59,33	-46,34	-63,24	175,45	6,54
265,23	-872,62	5309,89	-2744,93	-42,43	-32,81	-67,35	-80,12	188,50	8,22
-82,23	-1255,33	4124,69	-2798,55	-11,42	10,17	-96,89	-99,84	192,18	5,62
-510,31	-1669,26	4844,08	-2663,93	∞0 (0,55)	63,12	-128,84	-117,25	182,93	∞0 (0,04)

В графе 12-й определены величины реакций грунта в рассматриваемых точках, полученные путем суммирования в горизонтальном направлении граф 7-й до 11-й.

В графах 13-й до 16-й аналогичным способом определены слагаемые в формуле для величин изгибающих моментов.

В графе 17-й — величины изгибающих моментов.

В графах 18-й до 21-й — слагаемые в формуле для величин перерезывающих сил.

В графе 22-й — величины перерезывающих сил.

Так как величины внешних нагрузок и расстояний в расчете измерялись в тоннах и метрах, то и результаты расчетов, полученные в таблице, имеют соответственные измерители т/м^2 , тм и т .

После составления таблицы необходимо произвести проверки, которые гарантируют правильность арифметических выкладок.

Метод проверок указан в таблице § 10 (стр. 77). По данным этой таблицы, в рассматриваемом случае должны быть соблюдены следующие три условия:

1. Суммарная величина реакции грунта должна равняться сумме приложенных к балке вертикальных сил.

Найдем площадь эпюры реакций грунта, пользуясь данными графы 12-й и определяя ее как фигуру, состоящую из ряда трапеций. Например, площадь эпюры (фиг. 12) составляет в данном случае в масштабе сил:

$$\Omega = 652,12 \text{ т.}$$

Внешняя нагрузка:

$$\Sigma P = 100,00 + 13,80 \cdot 40 = 652,00 \text{ т.}$$

Невязка в расчете ничтожна и составляет:

$$\frac{(652,12 - 652,00) 100}{652,00} = 0,02\%.$$

2. Величины изгибающих моментов в точке B , определяемые по формулам для участков AB и BC , должны иметь одно и то же численное значение, и величина изгибающего момента в точке C , определяемая по формуле для участка балки BC , должна равняться нулю.

3. Величины перерезывающих сил в точке B , полученные по формулам для участков AB и BC , должны отличаться друг от друга на величину приложенной в этой точке сосредоточенной силы, и величина перерезывающей силы в точке C , определяемая по формуле для участка балки BC , должна равняться нулю.

Произведя эти проверки, переходим к построению эпюр величин реакций грунта, изгибающих моментов и перерезывающих сил, пользуясь соответственно данными граф 12-й, 17-й и 22-й.

При построении эпюр обычно принимается следующее правило

знаков: положительные значения величин реакций грунта и изгибающих моментов откладываются вниз от нулевой линии, а перерезывающих сил — вверх.

Эпюры элементов деформации показаны на фиг. 1 *з, д, е*.

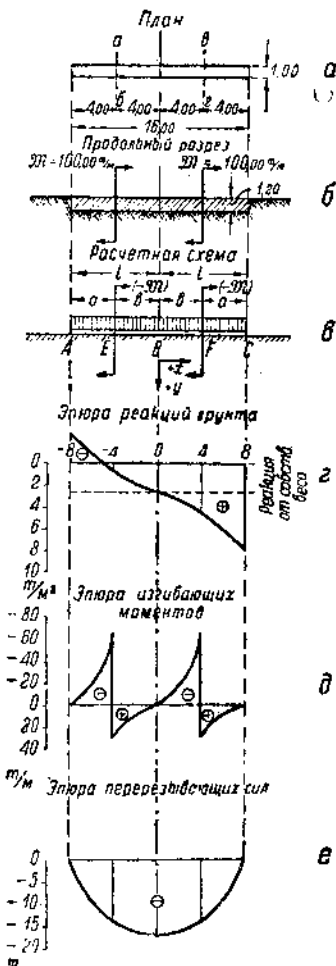
§ 5. Пример расчета короткой балки, свободно лежащей на упругом основании и нагруженной двумя моментами.

Бетонная балка длиной 16,00 м, шириною 1,00 м и высотой 1,20 м свободно лежит на основании из насыпного песчаного грунта и нагружена в сечениях *аб* и *вг*, отстоящих от оси симметрии балки на расстоянии 4,00 м, равными и одинаково направленными моментами 100,00 тм каждый (фиг. 2 *а* и *б*). Требуется определить величины реакций грунта, изгибающих моментов и перерезывающих сил на всем протяжении балки.

В данном примере в значительной степени повторяются приемы решения задачи, подробно изложенные в предыдущем параграфе. Поэтому цифровой материал сопровождается здесь необходимыми пояснениями лишь в тех местах, где форма расчета видоизменяется.

Расчетные данные (обозначения см. § 10, стр. 74):

длина балки $2l = 16,00$ м,
 ширина балки $d = 1,00$ м,
 высота балки $h = 1,20$ м,
 расстояние точек приложения моментов от оси $b = 4,00$ м,
 моменты (внешние) $M = 100,00$ тм,
 модуль упругости бетона $E = 2,1 \cdot 10^6$ т/м²,
 удельный вес бетона $\Delta = 2,30$ т/м³,
 коэффициент оседания основания (по данным таблицы § 3, стр. 27) $k = 2$ кг/см³ = 2000 т/м³.



Фиг. 2.

Определим степень жесткости балки.

$$\text{Момент инерции балки } I = \frac{d \cdot h^3}{12} = \frac{1,00 \cdot 1,20^3}{12} = 0,144 \text{ м}^4.$$

Коэффициент измерителя жесткости

$$m = \sqrt[4]{\frac{k \cdot d}{4Et}} = \sqrt[4]{\frac{2000 \cdot 1,00}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,144}} = 0,20165 \text{ м}^{-1}.$$

Измеритель жесткости

$$\lambda = l \cdot m = \frac{16,00 \cdot 0,20165}{2} = 1,61.$$

Неравенство

$$2,00 > \lambda = 1,61 > 0,6$$

показывает, что балка принадлежит к категории коротких (см. § 2, стр. 25).

Расчет балки сводится к схеме (фиг. 2в).

По графической таблице схем (стр. 8) рассматриваемому случаю соответствует схема 11 § 11 (стр. 86), однако в последней моменты направлены в противоположную сторону. Поэтому в формулах схемы 11 следует изменить знаки перед M . Так как схема 11 не учитывает собственного веса, то для определения составляющей реакции грунта, зависящей от собственного веса найдем (см. пример § 4, стр. 29) величину:

$$g = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,20 \cdot 2,30 = 2,76 \text{ т/м}^2.$$

Переходим к определению величин элементов деформации p , M и Q по формулам схемы 11.

Найдем сначала численные значения величин произвольных постоянных интегрирования B_1 , D_1 , A_2 , B_2 , C_2 и D_2 .

В формулы для этих величин входят функции n' , u' , v' , w' и C_p , C_p' , C_p'' и C_p''' , которые определяем с точностью пяти десятичных знаков, пользуясь обозначениями § 10 (стр. 75).

Имеем:

$$\lambda = 1,61,$$

$$2\lambda = 3,22.$$

По таблице § 21 (стр. 305) для аргумента $\varphi = 2\lambda = 3,22$ находим:

$$\cos h2\lambda = 12,53404,$$

$$\cos 2\lambda = -0,99693,$$

$$\sin h2\lambda = 12,49408,$$

$$\sin 2\lambda = -0,07833.$$

Тогда по формулам [8] § 10 (стр. 76):

$$n' = \sinh 2\lambda - \sin 2\lambda = 12,49408 + 0,07833 = 12,57241,$$

$$u' = \frac{\cos h2\lambda + \cos 2\lambda + 2}{n'} = \frac{12,53404 - 0,99693 + 2}{12,57241} = 1,07673,$$

$$v' = -\frac{\cos h2\lambda - \cos 2\lambda}{n'} = -\frac{12,53404 + 0,99693}{12,57241} = -1,07624,$$

$$w' = -\frac{\cos h2\lambda + \cos 2\lambda - 2}{n'} = -\frac{12,53404 - 0,99693 - 2}{12,57241} = -0,75857.$$

По той же таблице § 21 (стр. 300) для аргумента $\varphi = \beta = b \cdot m = 4,00 \cdot 0,20165 = 0,81$, находим:

$$\begin{aligned}\cos \beta &= 1,34638, \\ \sin \beta &= 0,90152,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\cos \beta &= 0,68950, \\ \sin \beta &= 0,72429.\end{aligned}$$

Тогда по формулам [1] § 10 (стр. 75):

$$\begin{aligned}C_{\beta} &= \cos \beta \cos \beta = 1,34638 \cdot 0,68950 = 0,92833, \\ C'_{\beta} &= \sin \beta \cos \beta - \cos \beta \sin \beta = 0,90152 \cdot 0,68950 - 1,34638 \cdot \\ &\quad \cdot 0,72429 = -0,35357, \\ C''_{\beta} &= -2 \sin \beta \sin \beta = -2 \cdot 0,90152 \cdot 0,72429 = -1,30592, \\ C'''_{\beta} &= -2 (\sin \beta \cos \beta + \cos \beta \sin \beta) = -2 \cdot (0,90152 \cdot 0,68950 + \\ &\quad + 1,34638 \cdot 0,72429) = -3,19354.\end{aligned}$$

Теперь по формулам схемы 11 находим:

$$\begin{aligned}B_1 &= -v' C_{\beta} - C'_{\beta} - \frac{1}{2} w' C''_{\beta} = 1,07624 \cdot 0,92833 + 0,35357 - 0,5 \cdot \\ &\quad \cdot 0,75857 \cdot 1,30592 = 0,85736, \\ D_1 &= \frac{1}{2} u' C_{\beta} + \frac{1}{4} v' C''_{\beta} + \frac{1}{4} C'''_{\beta} = 0,5 \cdot 1,07673 \cdot 0,92833 + 0,25 \cdot \\ &\quad \cdot 1,07624 \cdot 1,30592 - 0,25 \cdot 3,19354 = 0,05276.\end{aligned}$$

$$A_2 = -C''_{\beta} = 1,30592,$$

$$B_2 = -v' C_{\beta} - \frac{1}{2} w' C''_{\beta} = 0,99911 - 0,49532 = 0,50379,$$

$$C_2 = -C_{\beta} = -0,92833,$$

$$D_2 = \frac{1}{2} u' C_{\beta} + \frac{1}{4} v' C''_{\beta} = 0,49978 + 0,35137 = 0,85115.$$

Определим еще постоянные величины:

$$\begin{aligned}\frac{(-\mathfrak{M})m^2}{d} &= -\frac{100,00 \cdot 0,20165^2}{1,00} = -4,06627, \\ -(-\mathfrak{M}) &= 100,00, \\ -(-\mathfrak{M}) \cdot m &= 100,00 \cdot 0,20165 = 20,16500.\end{aligned}$$

Теперь имеем все данные для определения величин элементов деформации p , M и Q , для участка балки BC , которые вычисляем в табличной форме (стр. 38) для точек, отстоящих друг от друга на расстоянии 4,00 м, аналогично тому, как это сделано в примере § 4.

Правильность вычислений, сделанных в таблице, проверяется, аналогично предыдущему примеру, тремя поверками, метод которых изложен в таблице § 10 (стр. 77), после чего можно перейти к построению эпюр для величины p , M и Q , придерживаясь указаний о способе построения их для участка балки AB , приведенных в формулах схемы 11 и руководствуясь правилами о знаках, изложенными в предыдущем примере.

[illegible]

Продолжение.

$p \tau / \text{m}^2$	C_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}	$M_{T.M}$	C_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}	Q_{τ}
	0	-5,276	0	21,434	-17,289	0	-1,064	0
2,76	0	0	0	0	-17,29	0	0	-17,29
4,68	0	1,87	0	-66,58	-16,05	0	1,39	-14,66
$p \tau / \text{m}^2$	92,833	-85,115	32,648	12,595	-10,159	18,720	-17,163	6,583
4,67	86,18	30,09	-42,64	33,41	-9,43	-6,62	22,41	-14,66
8,04	-9,47	229,21	-156,68	0	1,04	-50,41	82,37	0
				(0,04)				(0,02)

Эпюры показаны на фиг. 2 г, д, е.

Расчет для других схем нагрузок коротких балок, свободно лежащих на упругом основании, производится в том же порядке, как это сделано в примерах § 4 (стр. 28) и § 5 (стр. 35), причем метод проверок следует заимствовать из таблицы § 10 (стр. 77).

§ 6. Пример расчета длинной балки, свободно лежащей на упругом основании и нагруженной двумя моментами.

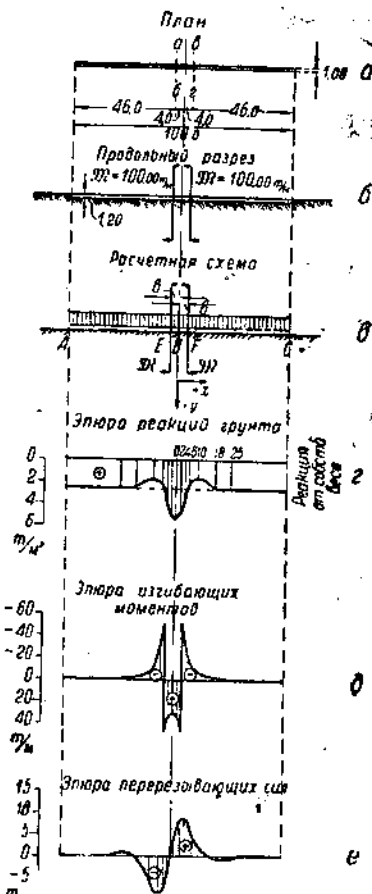
Бетонная балка длиной 100,00 м, шириною 1,00 м и высотой 1,20 м, свободно лежит на основании из насыпного песчаного грунта и нагружена в сечениях *ab* и *вг*, отстоящих от оси симметрии балки на расстоянии 4,00 м равными, но противоположно направленными моментами по 100,00 т.м каждый (фиг. 3 а и б). Требуется определить величины элементов деформации балки *p*, *M* и *Q*.

В данном примере умышленно повторяются расчетные данные предыдущего примера § 5 (стр. 35) за исключением длины балки, с целью показать как видоизменяется расчет в случае длинной балки (см. § 2, стр. 25).

Расчетные данные (обозначения см. § 10, стр. 74):

длина балки . . . $2l = 100,00$ м,
 ширина балки . . . $d = 1,00$ м
 высота балки . . . $h = 1,20$ м
 расстояние точек приложения
 моментов от оси симметрии $b = 4,00$ м,
 моменты (внешние) $M = 100,00$ т.м,
 модуль упругости бетона $E = 2,1 \cdot 10^6$ т/м²,
 удельный вес бетона $\Delta = 2,30$ т/м³,
 коэффициент оседания основания $k = 2$ кг/см³ =
 = 2 000 т/м³,

(по данным таблицы § 3, стр. 27).



Фиг. 3.

Определим степень жесткости балки.

$$\text{Момент инерции балки } I = \frac{d \cdot h^3}{12} = \frac{1,00 \cdot 1,20^3}{12} = 0,144 \text{ м}^4.$$

Коэффициент измерителя жесткости

$$m = \sqrt[4]{\frac{k \cdot d}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{2000 \cdot 1,00}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,144}} = 0,20165 \text{ м}^{-1}.$$

Измеритель жесткости

$$\lambda = l \cdot m = \frac{100,00 \cdot 0,20165}{2} = 10,08.$$

Неравенство

$$\lambda = 10,08 > 3$$

показывает, что балка принадлежит к категории длинных (см. § 2, стр. 25).

Расчет балки сводится к схеме (фиг. 3а), которая по графической таблице (стр. 10) соответствует схеме 37 § 11 (стр. 114).

Как в предыдущем примере § 5 (стр. 36), определяем составляющую реакции грунта, зависящую от собственного веса балки:

$$g = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,20 \cdot 2,30 = 2,76 \text{ т/м}^2.$$

Переходим к определению величин элементов деформации p , M и Q , по формулам схемы 37.

Найдем сначала численные значения постоянных величин, входящих в эти формулы, определив их с точностью пяти десятичных знаков и пользуясь для этого обозначениями § 10 (стр. 75).

Имеем:

$$\beta = b \cdot m = 4,00 \cdot 0,20165 = 0,81.$$

По таблице § 21, (стр. 300) для аргумента $\varphi = \beta = 0,81$, находим:

$$\begin{aligned} \cos h\beta &= 1,34638, \\ \sin h\beta &= 0,90152, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \beta &= 0,68950, \\ \sin \beta &= 0,72429. \end{aligned}$$

Тогда по формулам [1] § 10 (стр. 75):

$$C_p = \cos h\beta \cos \beta = 1,34638 \cdot 0,68950 = 0,92833,$$

$$C'_p = \sin h\beta \cos \beta - \cos h\beta \sin \beta = 0,90152 \cdot 0,68950 - 1,34638 \cdot 0,72429 = -0,35357,$$

$$C''_p = -2 \sin h\beta \sin \beta = -2 \cdot 0,90152 \cdot 0,72429 = -1,30592,$$

$$C'''_p = -2(\sin h\beta \cos \beta + \cos h\beta \sin \beta) = -2(0,90152 \cdot 0,68950 + 1,34638 \cdot 0,72429) = -3,19354.$$

По формулам [2], § 10 (стр. 75):

$$\begin{aligned}
 E_{\beta} &= C_{\beta} - \frac{1}{2} C'_{\beta} + \frac{1}{4} C''_{\beta} = 0,92833 + 0,5 \cdot 0,35357 - 0,25 \cdot 3,19354 = \\
 &= 0,30672, \\
 E'_{\beta} &= -C_{\beta} + C'_{\beta} - \frac{1}{2} C''_{\beta} = -0,92833 - 0,35357 + 0,5 \cdot 1,30592 = \\
 &= -0,62894, \\
 E''_{\beta} &= -C'_{\beta} + C''_{\beta} - \frac{1}{2} C'''_{\beta} = 0,35357 - 1,30592 + 0,5 \cdot 3,19354 = \\
 &= 0,64442, \\
 E'''_{\beta} &= 2C_{\beta} - C'_{\beta} + C''_{\beta} = 2 \cdot 0,92833 + 1,30592 - 3,19354 = \\
 &= -0,03096.
 \end{aligned}$$

Определим еще постоянные величины:

$$\begin{aligned}
 \frac{M \cdot m^2}{d} &= \frac{100,00 \cdot 0,20165^2}{1,00} = 4,06627, \\
 -M &= -100,00, \\
 -M \cdot m &= -100,00 \cdot 0,20165 = -20,16500.
 \end{aligned}$$

Теперь имеем все данные для определения величин элементов деформации p , M и Q , которые вычисляем в табличной форме для точек, отстоящих друг от друга на расстоянии 2,00 м в районе приложения моментов, увеличивая эти расстояния к концам балки, где влияние нагрузки мало сказывается на изменении упругой линии балки.

После проверки правильности расчета, которую следует производить по указаниям таблицы § 10 (стр. 77) построены эпюры элементов деформации p , M и Q (фиг. 3 г, д, е).

x	$\varphi = x \cdot m$	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}	g	$\frac{2,620}{C_{\varphi}}$
0	0	1,000	0	0	0	2,76	2,62
2	0,40	0,996	-0,043	-0,320	-1,599	2,76	2,61
4	0,81	0,92833	-0,35357	-1,30592	-3,19354	2,76	2,43
x	$\varphi = x \cdot m$	E_{φ}	E'_{φ}	E''_{φ}	E'''_{φ}	g	$\frac{-1,438}{E'_{\varphi}}$
4	0,81	0,30672	-0,62894	-0,64442	-0,03096	2,76	0,90
6	1,21	0,105	-0,385	-0,557	-0,347	2,76	0,5
10	2,02	-0,057	-0,064	-0,239	-0,354	2,76	0,09
18	3,63	-0,021	0,036	-0,025	-0,022	2,76	-0,05
25	5,04	0,001	0,004	-0,012	0,016	2,76	-0,01
50	10,08	0	0	0	0	2,76	0

$1,247$ C'' φ	p т/м ²	$30,672$ C φ	$-16,111$ C'' φ	M т.м	$6,185$ C' φ	$-3,249$ C''' φ	Q т
0	5,38	30,67	0	30,67	0	0	0
-0,40	4,97	30,55	5,16	35,71	-0,27	5,19	4,92
-1,63	3,56	28,47	21,04	49,51	-2,19	10,37	8,18
$3,246$ E''' φ	p т/м ²	$79,839$ E' φ	$8,839$ E''' φ	M т.м	$-7,130$ E φ	$16,099$ E'' φ	Q т
-0,10	3,56	-50,21	-0,27	-50,48	-2,19	10,37	8,18
-1,13	2,18	-30,74	-3,07	-30,81	-0,75	8,97	8,24
-1,15	1,70	-5,11	-3,13	-8,24	0,41	3,85	4,26
-0,07	2,64	2,87	-0,19	2,68	0,15	-0,40	-0,25
-0,05	2,70	0,32	0,14	0,46	-0,01	-0,19	-0,20
0	2,76	0	0	0	0	0	0

Расчет для других схем длинных балок, свободно лежащих на упругом основании, производится аналогично примеру, изложенному в настоящем параграфе, соблюдая правила проверок, приведенные в таблице § 10 (стр. 77).

§ 7. Пример расчета балки, лежащей на упругом основании, опертой по концам и нагруженной распределенной нагрузкой, изменяющейся по линейному закону.

Железобетонная плита, пролетом в 10,00 м, шириною 3,00 м и высотой 1,20 м, лежит на основании из глины естественной влажности и опирается по концам на неподвижных опорах. Балка нагружена распределенной нагрузкой, имеющей вид трапеции с ординатами $g_{\min} = 7,20$ т/м² и $g_{\max} = 107,20$ т/м² (фиг. 4 а, б).

Требуется проверить величины реакций грунта и определить необходимые данные для расчета арматуры.

Для простоты вырежем из плиты полосу в 1,00 м шириною, а трапециoidalную нагрузку будем рассматривать как состоящую из равномерно распределенной нагрузки (включая сюда собственный вес балки) и нагрузки, изменяющейся по закону треугольника.

Собственный вес балки на погонный метр составляет:

$$g = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,20 \cdot 2,30 = 2,80 \text{ т/м}^2.$$

Тогда балка, нагруженная по схеме фиг. 4 б, может быть рассчитана отдельно по двум схемам: фиг. 4 в, где равномерно распределенная нагрузка имеет ординату $g_1 = 7,20 + 2,80 = 10,00$ т/м², и фиг. 4 г, где наибольшая ордината распределенной нагрузки

$$g_{II} = 107,20 - 7,20 = 100,00 \text{ т/м}^2.$$

Складывая результаты обоих расчетов, получим величины элементов деформации, возникающих под действием заданной нагрузки (фиг. 4 б).

Расчетные данные (обозначения см. § 10, стр. 74):

длина балки . $2l = 10,00$ м

ширина балки (расчетная) . $d = 1,00$ "

высота балки $h = 1,20$ "

ордината равномерно распределенной нагрузки по схеме фиг. 4 а $g_I = 10,00$ т/м²

наибольшая ордината распределенной нагрузки по схеме фиг. 4 з $g_{II} = 100,00$ т/м²

модуль упругости бетона $E = 2,1 \cdot 10^6$ т/м²

удельный вес бетона . . . $\Delta = 2,30$ т/м³

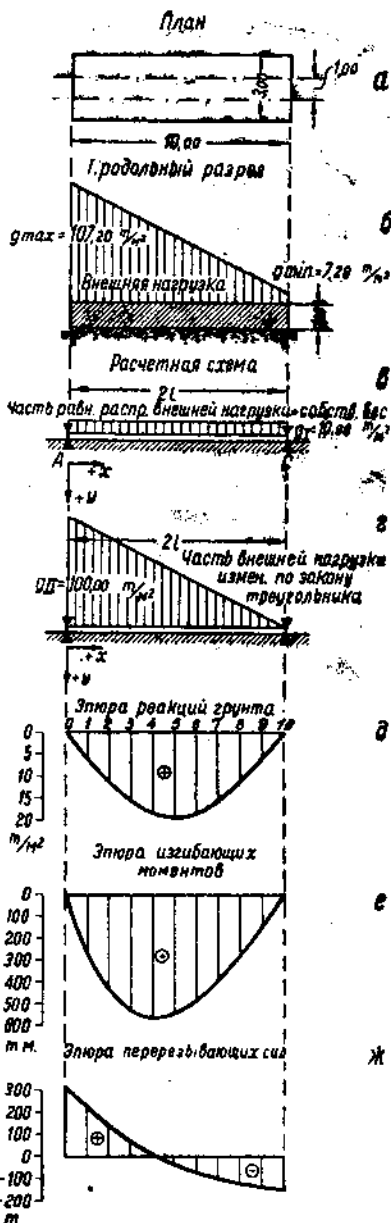
коэффициент оседания основания (по данным таблицы § 3 (стр. 27)) . . $k = 1$ кг/см³ = 1000 т/м³

Расчет балки произведем по формулам схем 68 и 75 (см. графическую таблицу схем, стр. 12), причем в последней схеме воспользуемся формулами для убывающей слева направо нагрузки.

Определим сначала численные значения всех постоянных величин, входящих в формулы для элементов деформации с точностью пяти десятичных знаков.

Момент инерции балки

$$I = \frac{d \cdot h^3}{12} = \frac{1,00 \cdot 1,20^3}{12} = 0,144 \text{ м}^4.$$



Фиг. 4.

Коэффициент измерителя жесткости

$$m = \sqrt[4]{\frac{k \cdot d}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{1000 \cdot 1,00}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 0,144}} = 0,16957 \text{ м}^{-1}.$$

Измеритель жесткости

$$\lambda = l \cdot m = \frac{10,00 \cdot 0,16957}{2} = 0,85,$$

$$2\lambda = 2 \cdot 0,85 = 1,70,$$

$$4\lambda = 4 \cdot 0,85 = 3,40.$$

По таблице § 21 (стр. 301) для аргумента $\varphi = 2\lambda = 1,70$, находим:

$$\cos h2\lambda = 2,82832, \quad \cos 2\lambda = -0,12884,$$

$$\sin h2\lambda = 2,64563, \quad \sin 2\lambda = 0,99166.$$

Тогда по формулам [1], § 10, (стр. 75):

$$C'_{2\lambda} = \sin h2\lambda \cos 2\lambda - \cos h2\lambda \sin 2\lambda = 2,64563 \cdot -0,12884 - 2,82832 \cdot 0,99166 = -3,14559,$$

$$C''_{2\lambda} = -2(\sin h2\lambda \cos 2\lambda + \cos h2\lambda \sin 2\lambda) = -2(2,64563 \cdot -0,12884 + 2,82832 \cdot 0,99166) = -4,92774.$$

По той же таблице для аргумента $\varphi = 4\lambda = 3,40$ находим:

$$\cos h4\lambda = 14,99874, \quad \cos 4\lambda = -0,96680,$$

$$\sin h4\lambda = 14,96536, \quad \sin 4\lambda = -0,25554.$$

Тогда по формулам [6], § 10 (стр. 75):

$$N''' = \cos h4\lambda - \cos 4\lambda = 14,99874 + 0,96680 = 15,96554,$$

$$U''' = \frac{\sin h4\lambda - \sin 4\lambda}{N'''} = \frac{14,96536 + 0,25554}{15,96554} = 0,95336,$$

$$W''' = \frac{\sin h4\lambda + \sin 4\lambda}{N'''} = \frac{14,96536 - 0,25554}{15,96554} = 0,92135.$$

Пользуясь формулами схем 68 и 75 (§ 13 стр. 153 и 166), определим численные значения произвольных постоянных:
для схемы 68:

$$A_I = -1,$$

$$B_I = \frac{1}{2} U''' - \frac{C'_{2\lambda}}{N'''} = \frac{1}{2} \cdot 0,95336 + \frac{3,14559}{15,96554} = 0,67370,$$

$$D_I = -\frac{1}{4} W''' - \frac{1}{4} \cdot \frac{C''_{2\lambda}}{N'''} = -\frac{1}{4} \cdot 0,92135 + \frac{1}{4} \cdot \frac{4,92774}{15,96554} = -0,15318.$$

для схемы 75 (по формулам убывающей нагрузки):

$$A_{II} = -2\lambda = -2 \cdot 0,85 = -1,70000,$$

$$B_{II} = \lambda U''' = 0,85 \cdot 0,95336 = 0,81036,$$

x	$\varphi = x \cdot m$	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	g	φ	C_φ	C'_φ
0	0	1,000	0	0	0	110,00	0	— 110,00	54,406
1	0,17	1,000	— 0,003	— 0,038	— 0,630	110,00	— 10,00	— 110,00	— 0,16
2	0,34	0,998	— 0,026	— 0,231	— 1,359	110,00	— 20,00	— 109,78	— 1,41
3	0,51	0,989	— 0,089	— 0,520	— 2,035	110,00	— 30,00	— 108,79	— 4,84
4	0,68	0,964	— 0,210	— 0,923	— 2,701	110,00	— 40,00	— 106,04	— 11,37
5	0,85	0,913	— 0,408	— 1,437	— 3,341	110,00	— 50,00	— 100,43	— 22,20
6	1,02	0,820	— 0,704	— 2,056	— 3,933	110,00	— 60,00	— 90,31	— 38,25
7	1,19	0,667	— 1,113	— 2,769	— 4,443	110,00	— 70,00	— 73,48	— 60,55
8	1,36	0,435	— 1,650	— 3,559	— 4,823	110,00	— 80,00	— 47,85	— 89,77
9	1,53	0,099	— 2,326	— 4,398	— 5,010	110,00	— 90,00	— 10,89	— 126,55
10	1,70	— 0,364	— 3,146	— 5,247	— 4,928	110,00	— 100,00	— 40,04	— 171,16

Продолжения.

$-24,565$ C'''_φ	$p \tau/m^2$	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	M τ, m	C_φ	C''_φ	C'''_φ	$Q \tau$
0	0	0	0	0	0	320,84	0	0	320,84
16,70	6,54	— 55,47	— 321,66	268,75	268,75	320,84	8,40	— 110,28	218,96
33,38	12,19	— 220,93	642,84	444,12	444,12	320,20	33,46	— 220,40	133,26
49,99	16,36	— 497,32	962,60	541,32	541,32	317,31	75,33	— 330,03	62,61
66,35	18,94	— 882,75	1277,64	573,44	573,44	309,29	133,71	— 438,03	4,97
82,07	19,44	— 1373,37	1580,37	555,57	555,57	292,93	208,03	— 541,83	— 40,87
96,61	18,05	— 1985,46	1860,40	475,53	475,53	263,41	300,75	— 637,83	— 73,67
109,14	15,11	— 2648,24	2101,64	404,27	404,27	214,32	401,14	— 720,54	— 105,08
118,50	10,88	— 3402,83	2281,86	288,67	288,67	139,57	515,44	— 782,33	— 127,92
123,10	5,66	— 4206,20	2370,32	151,29	151,29	31,76	637,13	— 812,66	— 143,77
121,06	~0	— 5018,17	2331,06	~0	~0	— 116,79	760,12	— 799,20	— 155,87
	(0,06)			(0,61)					

$$D_{II} = -\frac{1}{2} \lambda W''' = -\frac{1}{2} \cdot 0,85 \cdot 0,92135 = -0,39157.$$

Определим теперь численные значения постоянных коэффициентов, входящих в формулы для элементов деформации перед переменными функциями φ , C_φ , C_φ' , C_φ'' и C_φ''' , причем для простоты дальнейших расчетов, сложим величины коэффициентов, полученные по формулам схем 68 и 75 и относящихся к одним и тем же переменным функциям.

Тогда получим:

$$\begin{aligned} g_I + g_{II} &= 10,00 + \\ &+ 100,00 = 110,00000, \\ \frac{g_{II}}{2\lambda} &= \frac{100,00}{1,70} = 58,82353, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_I A_I + \frac{g_{II}}{2\lambda} A_{II} &= 10,00 \cdot -1 + \\ &+ 58,82353 \cdot -1,70000 = \\ &= -110,00000, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_I B_I + \frac{g_{II}}{2\lambda} B_{II} &= 10,00 \cdot 0,67370 + \\ &+ 58,82353 \cdot 0,81036 = 54,40524, \end{aligned}$$

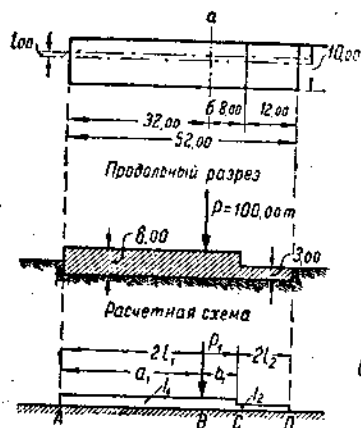
$$\begin{aligned} g_I D_I + \frac{g_{II}}{2\lambda} D_{II} &= 10,00 \cdot -0,15318 + \\ &+ 58,82353 \cdot -0,39157 = \\ &= -24,56533, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -\frac{1}{4} \frac{d}{m^3} \left(g_I A_I + \frac{g_{II}}{2\lambda} A_{II} \right) &= \\ = -\frac{1}{4} \cdot \frac{1,00}{0,16957^3} \cdot -110,00000 &= \\ = 956,389, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -\frac{1}{4} \frac{d}{m^3} \left(g_I B_I + \frac{g_{II}}{2\lambda} B_{II} \right) &= \\ = -\frac{1}{4} \cdot \frac{1,00}{0,16957^3} \cdot 54,40524 &= \\ = -473,023, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{m^3} \left(g_I D_I + \frac{g_{II}}{2\lambda} D_{II} \right) &= \frac{1,00}{0,16957^3} \cdot \\ \cdot -24,56533 &= -854,328, \end{aligned}$$

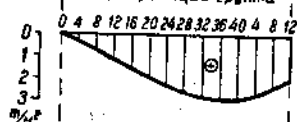
План



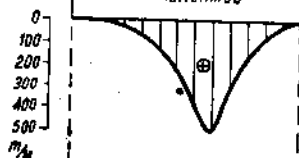
Продольный разрез

Расчетная схема

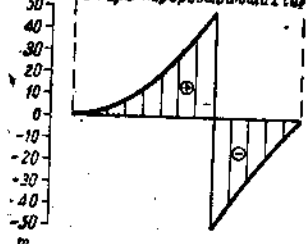
Эпюра реакций грунта



Эпюра изгибающих моментов



Эпюра поперезывающих сил



Фиг. 5.

$$-\frac{1}{4} \frac{d}{m} \left(g_I A_I + \frac{g_{II}}{2\lambda} A_{II} \right) = -\frac{1}{4} \cdot \frac{1,00}{0,16957} \cdot -110,00000 = 162,175,$$

$$\frac{d}{m} \left(g_I B_I + \frac{g_{II}}{2\lambda} B_{II} \right) = \frac{1,00}{0,16957} \cdot 54,40524 = 320,842,$$

$$\frac{d}{m} \left(g_I D_I + \frac{g_{II}}{2\lambda} D_{II} \right) = \frac{1,00}{0,16957} \cdot -24,56533 = -144,868.$$

Теперь имеем все данные для определения величин элементов деформации p , M и Q , возникающих от суммарной нагрузки по схемам фиг. 4 а и з. Вычисление сделаем в табличной форме для точек, отстоящих друг от друга на расстоянии в 1,00 м. (стр. 45).

Произведем проверки правильности вычислений по указаниям таблицы § 10 (стр. 77).

Имеем:

площадь эпюры реакций грунта в масштабе сил	123,17 т
реакция на опоре, А	320,84 "
" " " С	155,87 "
	599,88 т

Внешняя нагрузка составляет:

$$\frac{(10,00 + 110,00) 10,00}{2} = 600,00 \text{ т.}$$

Невязка определяется в

$$\frac{(600,00 - 599,88) 100}{600,00} = 0,02\%.$$

Остальные проверки не требуют никаких дополнительных подсчетов.

В виду незначительности невязок можно перейти к построению эпюр элементов деформации, показанных на фиг. 4 д, е, ж.

Аналогично с приведенным примером производится расчет по другим схемам §§ 12, 13, 14, 15 и 16.

Отличающиеся для этих параграфов методы проверок приведены в таблице §- 10 (стр. 77).

§ 8. Пример расчета балки, лежащей на упругом основании и состоящей из двух участков различной жесткости при нагрузке ее сосредоточенной силой.

Фундаментная бетонная плита шириною 10,00 м, состоящая из двух участков различной высоты, жестко связанных между собою, свободно лежит по всей длине на основании из глины средней плотности (фиг. 5 а, б).

Участок плиты длиною 40,00 м имеет высоту в 6,00 м и нагру-

жен по сечению ab , отстоящему от места изменения сечения балки на 8,00 м, распределенной нагрузкой в 100,00 пог. м; соседний участок длиной 12,00 м и высотой 3,00 м не несет никаких нагрузок. Требуется найти величины реакций грунта и определить значения изгибающих моментов и перерезывающих сил по всей длине балки.

Имеем следующие расчетные данные, буквенные обозначения которых указаны в главе, соответствующей рассматриваемым расчетным схемам § 17 (стр. 227):

В дальнейших буквенных обозначениях индекс ¹ указывает на принадлежность рассматриваемой величины к левому участку балки, индекс ² — к правому.

Расчет начнем с определения численных значений величин M_c и Q_c , для чего применим формулы, приведенные в схеме 116.

Вычислим сначала отдельно все постоянные величины, входящие в эти формулы с точностью пяти десятичных знаков.

Имеем:

моменты инерции для отдельных участков балки:

$$I_1 = \frac{d_1 \cdot h_1^3}{12} = \frac{1,00 \cdot 6,00^3}{12} = 18,00 \text{ м}^4,$$

$$I_2 = \frac{d_2 \cdot h_2^3}{12} = \frac{1,00 \cdot 3,00^3}{12} = 2,25 \text{ м}^4;$$

соответствующие коэффициенты измерителей жесткости:

$$m_1 = \sqrt[4]{\frac{k_1 \cdot d_1}{4E_1 I_1}} = \sqrt[4]{\frac{600 \cdot 1,00}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 18,00}} = 0,04463 \text{ м}^{-1},$$

$$m_2 = \sqrt[4]{\frac{k_2 \cdot d_2}{4E_2 I_2}} = \sqrt[4]{\frac{600 \cdot 1,00}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 2,25}} = 0,07506 \text{ м}^{-1};$$

измерители жесткости:

$$\lambda_1 = \frac{2l_1 m_1}{2} = \frac{40,00 \cdot 0,04463}{2} = 0,89,$$

$$\lambda_2 = \frac{2l_2 m_2}{2} = \frac{12,00 \cdot 0,07506}{2} = 0,45.$$

Неравенства

$$\begin{aligned} 2,00 > \lambda_1 = 0,89 > 0,60, \\ 2,00 > \lambda_2 = 0,45 > 0,40 \end{aligned}$$

показывают, что оба участка балки могут рассматриваться как балки короткие (см. § 2, стр. 25).

По таблице § 24 (стр. 337 и 338) найдем для аргументов

$$\begin{aligned} \lambda_1 = 0,89: & & \lambda_2 = 0,45: \\ N_1 = 14,68208, & & N_2 = 0,88027, \\ U_1 = 1,22420, & & U_2 = 2,23604, \\ V_1 = 1,26069, & & V_2 = 3,78824, \\ W_1 = 1,16884, & & W_2 = 4,44866. \end{aligned}$$

Далее, имея значение величин m_1 и m_2 , определим:

$$\begin{aligned} \frac{m_2}{m_1} &= \frac{0,07506}{0,04463} = 1,68183, \\ \frac{m_2^2}{m_1^2} &= 2,82855, \\ \frac{m_2^3}{m_1^3} &= 4,75714. \end{aligned}$$

Тогда по формулам [3] § 17 (стр. 228). получим:

$$H = U_1 + U_2 \frac{m_2}{m_1} = 1,22420 + 2,23604 \cdot 1,68183 = 4,98483,$$

$$L = V_1 - V_2 \frac{m_2^2}{m_1^2} = 1,26069 - 3,78824 \cdot 2,82855 = -9,45454,$$

$$q = W_1 + W_2 \frac{m_2^3}{m_1^3} = 1,16884 + 4,44866 \cdot 4,75714 = 22,33174.$$

По таблицам § 21 (стр. 229) для аргумента $\beta_1 = b_1 m_1 = 8,00 \cdot 0,04463 = 0,36$, найдем величины:

$$\begin{aligned} \cos h \beta_1 &= 1,06550, & \cos \beta_1 &= 0,93590, \\ \sin h \beta_1 &= 0,36783, & \sin \beta_1 &= 0,35227. \end{aligned}$$

Тогда по формулам [1] § 17 (стр. 227) можем определить:

$$\begin{aligned} C_{\beta_1} &= \cos h \beta_1 \cos \beta_1 = 1,06550 \cdot 0,93590 = 0,99720, \\ C'_{\beta_1} &= \sin h \beta_1 \cos \beta_1 - \cos h \beta_1 \sin \beta_1 = 0,36783 \cdot 0,93590 - \\ &\quad - 1,06550 \cdot 0,35227 = -0,03109, \\ C''_{\beta_1} &= -2 \sin h \beta_1 \sin \beta_1 = -2 \cdot 0,36783 \cdot 0,35227 = -0,25915, \\ C'''_{\beta_1} &= -2 (\sin h \beta_1 \cos \beta_1 + \cos h \beta_1 \sin \beta_1) = -2 (0,36783 \cdot 0,93590 + \\ &\quad + 1,06550 \cdot 0,35227) = -1,43918. \end{aligned}$$

Теперь имеем все данные для определения значений произвольных постоянных интегрирования, которые вычисляем по формулам, приведенным в схеме 116:

$$\begin{aligned} A_0 &= 2 U_1 C_{\beta_1} - C'_{\beta_1} + \frac{1}{2} V_1 C'''_{\beta_1} = 2 \cdot 1,22420 \cdot 0,99720 + 0,03109 - \\ &\quad - 0,5 \cdot 1,26069 \cdot 1,43918 = 1,56545, \\ D_0 &= \frac{1}{2} V_1 C_{\beta_1} - \frac{1}{4} C''_{\beta_1} + \frac{1}{4} W_1 C'''_{\beta_1} = 0,5 \cdot 1,26069 \cdot 0,99720 + \\ &\quad + 0,25 \cdot 0,25915 - 0,25 \cdot 1,16884 \cdot 1,43918 = 0,27283. \end{aligned}$$

Определим отдельные слагаемые в формулах для Q_c и M_c , приведенные в схеме 116.

$$\begin{aligned} A_0 q &= 1,56545 \cdot 22,33174 = 34,95922, \\ A_0 L &= 1,56545 \cdot -9,45454 = -14,80061, \\ -2 D_0 L &= -2 \cdot 0,27283 \cdot -9,45454 = 5,15896, \\ -4 D_0 H &= -4 \cdot 0,27283 \cdot 4,98483 = -5,44004, \\ L^3 - 2 q H &= (-9,45454)^2 - 2 \cdot 22,3317 \cdot 4,98483 = -133,25152. \end{aligned}$$

Применяя полученные данные для определения искомых величин Q_c и M_c , находим:

$$\begin{aligned} Q_c &= \frac{P_1(A_0 q - 2 D_0 L)}{L^3 - 2 q H} = \frac{100 (34,95922 + 5,15896)}{-133,25152} = -30,10719 \text{ т}, \\ M_c &= \frac{P_1(A_0 L - 4 D_0 H)}{2 m_1 (L^3 - 2 q H)} = \frac{100 (-14,80061 - 5,44004)}{2 \cdot 0,04463 \cdot -133,25152} = 170,17486 \text{ т. м.} \end{aligned}$$

Переходим к определению величин элементов деформации p , M и Q , для чего по указанию, приведенному в схеме 116, находим значения этих величин от действия отдельных сил по схемам 1, 3 и 9 для участков балки AB и BC и по схемам 2 и 8 для участка балки CD , подставляя в соответствующие формулы найденные значения Q_c и M_c .

Суммируя затем величины соответствующих элементов деформации по указанным выше схемам, получим искомые значения этих величин, возникающих под действием заданной нагрузки.

Таким образом, дальнейший расчет сводится к простым вычислениям по элементарным схемам § 11, метод которого подробно изложен в первых примерах. Поэтому здесь приведен лишь цифровой материал в том виде, как он должен быть размещен в расчете.

Рассмотрим сначала участки балки AB и BC .

Для них:

$$\begin{aligned} m_1 &= 0,04463 \text{ м}^{-1}, \\ 2l_1 &= 40,00 \text{ м}, \quad 2\lambda_1 = 1,78, \\ a_1 &= 2l_1 - b_1 = 40,00 - 8,00 = 32,00 \text{ м}, \\ \alpha_1 &= 2\lambda_1 - \beta_1 = 1,78 - 0,36 = 1,42. \end{aligned}$$

Схема 1.

$$P = P_1 = 100,00 \text{ т.}$$

По таблицам § 21 (стр. 301) найдем для аргумента $\alpha_1 = 1,42$:

$$\begin{aligned} \cos h\alpha_1 &= 2,18942, & \cos \alpha_1 &= 0,15023, \\ \sin h\alpha_1 &= 1,94770, & \sin \alpha_1 &= 0,98865. \end{aligned}$$

По формулам [1], § 17 (стр. 227) имеем:

$$\begin{aligned} C_{\alpha_1} &= 2,18942 \cdot 0,15023 = 0,32892, \\ C'_{\alpha_1} &= 1,94770 \cdot 0,15023 - 2,18942 \cdot 0,98865 = -1,87197, \\ C''_{\alpha_1} &= -2 \cdot 1,94770 \cdot 0,98865 = -3,85119, \\ C'''_{\alpha_1} &= -2(1,94770 \cdot 0,15023 + 2,18942 \cdot 0,98865) = -4,91434. \end{aligned}$$

По формулам схемы 1 определим величины произвольных постоянных:

$$\begin{aligned} A_1 &= 2U_1 C_{\alpha_1} - C'_{\alpha_1} + \frac{1}{2} V_1 C'''_{\alpha_1} = 2 \cdot 1,22420 \cdot 0,32892 + 1,87197 - \\ &\quad - 0,5 \cdot 1,26069 \cdot 4,91434 = -0,42044, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_1 &= \frac{1}{2} V_1 C_{\alpha_1} - \frac{1}{4} C''_{\alpha_1} + \frac{1}{4} W_1 C'''_{\alpha_1} = 0,5 \cdot 1,26069 \cdot 0,32892 + 0,25 \cdot \\ &\quad \cdot 3,85119 - 0,25 \cdot 1,16884 \cdot 4,91434 = -0,26590, \end{aligned}$$

$$A_2 = 2U_1 C_{\alpha_1} + \frac{1}{2} V_1 C'''_{\alpha_1} = 0,80532 - 3,09773 = -2,29241,$$

$$B_2 = -C_{\alpha_1} = -0,32892,$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} C'''_{\alpha_1} = 0,25 \cdot 4,91434 = 1,22859,$$

$$D_2 = \frac{1}{2} V_1 C_{\alpha_1} + \frac{1}{4} W_1 C'''_{\alpha_1} = 0,20733 - 1,43603 = -1,22870.$$

Определим еще постоянные величины:

$$\begin{aligned} \frac{P_1 m_1}{d_1} &= \frac{100,00 \cdot 0,04463}{1,00} = 4,46300, \\ -\frac{P_1}{m_1} &= -\frac{100,00}{0,04463} = -2240,64531, \\ -P_1 &= -100,00. \end{aligned}$$

Теперь имеем численные данные для определения величин элементов деформации по схеме 1. Однако для простоты дальнейшего расчета ограничимся пока определением величин численных коэффициентов перед переменными функциями в формулах для элементов деформации. Эти коэффициенты сведены в помещенной ниже таблице 1 (стр. 54).

Схема 3.

$$P = Q_c = -30,10719 \text{ т.}$$

По таблицам § 21 (стр. 302) найдем для аргумента $2\lambda_1 = 1,78$:

$$\begin{aligned} \cos h 2\lambda_1 &= 3,04925, & \cos 2\lambda_1 &= -0,20768, \\ \sin h 2\lambda_1 &= 2,88061, & \sin 2\lambda_1 &= 0,97820. \end{aligned}$$

По формулам [1] § 17 (стр. 227) имеем:

$$\begin{aligned} C_{\lambda_1} &= -3,04925 \cdot 0,20768 = -0,63327, \\ C_{2\lambda_1} &= -2,88061 \cdot 0,20768 - 3,04925 \cdot 0,97820 = -3,58103, \\ C_{2\lambda_1} &= -2 \cdot 2,88061 \cdot 0,97820 = -5,63563, \\ C_{2\lambda_1}''' &= -2 (-2,88061 \cdot 0,20768 + 3,04925 \cdot 0,97820) = -4,76906. \end{aligned}$$

По таблице § 24 (стр. 338) для аргумента $\lambda_1 = 0,89$:

$$N_1 = 14,68208.$$

Тогда получим:

$$\begin{aligned} \frac{C_{2\lambda_1}'}{N_1} &= -\frac{3,58103}{14,68208} = -0,24390, \\ \frac{C_{2\lambda_1}''}{N_1} &= -\frac{5,63563}{14,28208} = -0,38384. \end{aligned}$$

Определим еще постоянные величины:

$$\begin{aligned} \frac{Q_c m_1}{d_1} &= -\frac{30,10719 \cdot 0,04463}{1,00} = -1,34368, \\ -\frac{Q_c}{m_1} &= \frac{30,10719}{0,04463} = 674,59534, \\ -Q_c &= 30,10719. \end{aligned}$$

На основании полученных данных определяем численные коэффициенты перед переменными функциями в формулах для элементов деформации по схеме 3, которые помещаем в таблице 1 (стр. 54).

Схема 9.

$$\mathfrak{M} = M_c = 170,17486 \text{ т. м.}$$

Большинство постоянных величин, входящих в формулы для элементов деформации, определено в схеме 3.

Вычислим дополнительно величины:

$$\begin{aligned}-\frac{C_2'''\lambda_1}{N_1} &= \frac{4,76006}{14,68208} = 0,32482, \\ \frac{M_c m_1^2}{d_1} &= \frac{170,17486 \cdot 0,04463^2}{1,00} = 0,33896, \\ -M_c &= -170,17486, \\ -M_c m_1 &= -170,17486 \cdot 0,04463 = -7,59490.\end{aligned}$$

На основании полученных данных определяем численные коэффициенты перед переменными функциями в формулах для элементов деформации по схеме 9, которые помещаем в таблице 1 (стр. 54). Как уже сказано, искомые величины элементов деформации, возникающие от действия заданной нагрузки, могут быть получены путем сложения соответствующих величин элементов деформации от действия отдельных нагрузок, приложенных к балке.

Для простоты расчета сложим постоянные численные коэффициенты перед переменными функциями в уравнениях для элементов деформации, полученные для схемы отдельных нагрузок. Тогда получим некоторые суммарные уравнения для элементов деформации, возникающих от действия заданной нагрузки.

Суммирование уравнений выполнено в таблице (1 стр. 54).

Переходим к расчету участка балки CD .

Для этого участка:

$$\begin{aligned}m_2 &= 0,07506 \text{ м}^{-1}, \\ l_2 &= 6,00 \text{ м}, \quad \lambda_2 = 0,45.\end{aligned}$$

Схема 2.

$$P = -Q_c = 30,10719 \text{ т.}$$

По таблице § 24 (стр. 337) для аргумента $\lambda_2 = 0,45$, найдем:

$$\begin{aligned}U_2 &= 2,23604, \\ V_2 &= 3,78824.\end{aligned}$$

Определим постоянные величины:

$$\begin{aligned}\frac{(-Q_c)m_2}{d_2} &= \frac{30,10719 \cdot 0,07506}{1,00} = 2,25985, \\ -\frac{(-Q_c)}{m_2} &= \frac{-30,10719}{0,07506} = -401,10831, \\ -(-Q_c) &= -30,10719.\end{aligned}$$

Имея эти данные, определим численные коэффициенты перед переменными функциями в формулах для элементов деформации по схеме 2, которые помещены в таблице 2 (стр. 55).

Схема 8.

$$\mathfrak{M} = M_c = 170,17486 \text{ т. м.}$$

Таблица 1.

№ схем нагрузок	Для участка балки АВ					Для участка балки ВС				
	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}	C_{φ}	C'_{φ}
Уравнения для реакций основания P	1	-1,876	0	0	-1,187	-10,231	-1,468	5,483	-5,484	
	3	1,311	0	0	0,516	1,311	0	0	0,516	
	9	0,520	0	0	0,110	0,520	0	0	0,110	
	Суммарное уравнение	-0,045	0	0	-0,561	-8,400	-1,468	5,483	-4,858	
Уравнения для изгибающих моментов M	1	0	-595,788	235,514	0	2752,834	-2753,061	1284,114	184,248	
	3	0	258,957	-164,534	0	0	258,957	-164,534	0	
	9	0	55,276	-65,320	0	0	55,276	-65,320	0	
	Суммарное уравнение	0	-281,555	5,661	0	2752,834	-2438,848	1054,260	184,248	
Уравнения для перерезывающих сил Q	1	0	0	-26,590	10,511	-32,892	122,839	-122,870	57,310	
	3	0	0	11,556	-7,343	0	0	11,556	-7,343	
	9	0	0	2,467	-2,915	0	0	2,467	-2,915	
	Суммарное уравнение	0	0	-12,567	0,253	-32,892	122,839	-108,847	47,052	

По таблице § 24 (стр. 337) для аргумента $\lambda_2 = 0,45$, найдем:

$$V_2 = 3,78824,$$

$$W_2 = 4,44866.$$

Определим постоянные величины:

$$\frac{M_c \cdot m_2^2}{d_2} = \frac{170,17486 \cdot 0,07506^2}{1,00} = 0,95877,$$

$$-M_c = -170,17486,$$

$$-M_c \cdot m_2 = -170,17486 \cdot 0,07506 = -12,77332.$$

Численные коэффициенты перед переменными функциями в формулах для элементов деформации по схеме 8 помещены в таблице 2.

В той же таблице 2 выполнено суммирование уравнений для элементов деформации, возникающих от действия отдельных нагрузок, с целью получения суммарного уравнения для элементов деформации от заданной нагрузки.

Таблица 2.

№ схем нагрузок		Для участка балки CD			
		C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ
Уравнения для реакций основания P	2	10,106	-2,260	0	4,280
	8	-7,264	0	0,959	-4,265
	Суммарное уравнение	2,842	-2,260	0,959	0,015
Уравнения для изгибающих моментов M	2	0	759,747	-448,447	100,277
	8	170,175	-757,050	322,332	0
	Суммарное уравнение	170,175	2,697	-126,115	100,277
Уравнения для перерезывающих сил Q	2	-30,107	0	57,027	-33,660
	8	0	12,773	-56,824	24,194
	Суммарное уравнение	-30,107	12,773	0,202	-9,466

Пользуясь полученными суммарными уравнениями для элементов деформации P , M и Q на участках балки AB , BC и CD , определим значения этих величин для сечений балки, отстоящих друг от друга на расстоянии 4,00 м.

x	$\varphi = x \cdot m$	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	$-0,045 C_\varphi$	$0^\circ C'_\varphi$	$0 C''_\varphi$	$-0,561 C'''_\varphi$	$p \tau / m^2$
0	0	1,000	0	0	0	-0,05	0	0	0	-0,05
4	0,18	1,000	-0,004	-0,065	-0,720	-0,05	0	0	0,40	0,35
8	0,36	0,997	-0,031	-0,259	-1,439	-0,05	0	0	0,81	0,76
12	0,54	0,986	-0,105	-0,583	-2,154	-0,04	0	0	1,21	1,17
16	0,71	0,958	-0,238	-1,005	-2,816	-0,04	0	0	1,58	1,54
20	0,89	0,896	-0,469	-1,573	-3,486	-0,04	0	0	1,95	1,91
24	1,07	0,782	-0,812	-2,256	-4,093	-0,04	0	0	2,30	2,26
28	1,25	0,596	-1,287	-3,040	-4,594	-0,03	0	0	2,57	2,54
32	1,42	0,32892	-1,87197	-3,85119	-4,91434	-0,01	0	0	2,76	2,75
x	$\varphi = x \cdot m$	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	$-8,400 C_\varphi$	$-1,468 C'_\varphi$	$5,483 C''_\varphi$	$-4,858 C'''_\varphi$	$p \tau / m^2$
32	1,42	0,32892	-1,87197	-3,85119	-4,91434	-2,76	2,75	-21,12	23,87	2,74
36	1,61	-0,102	-2,693	-4,799	-5,010	0,86	3,95	-26,31	24,34	2,84
40	1,78	-0,63327	-3,58103	-5,63563	-4,76906	5,32	5,26	-30,90	23,17	2,85
x	φ	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	$2,842 C_\varphi$	$-2,260 C'_\varphi$	$0,959 C''_\varphi$	$0,015 C'''_\varphi$	$p \tau / m^2$
0	0	1,00000	0	0	0	2,84	0	0	0	2,84
4	0,30	0,999	-0,018	-0,180	-1,200	2,84	0,04	-0,17	-0,02	2,69
8	0,60	0,978	-0,144	-0,719	-2,390	2,78	0,33	-0,69	-0,04	2,38
12	0,90	0,893	-0,485	-1,608	-3,521	2,53	1,10	-1,54	-0,05	2,04

Q C_{φ}	$-281,555$ C'_{φ}	$5,661$ C''_{φ}	0 C'''_{φ}	M т. м.	0 C_{φ}	0 C'_{φ}	$-12,567$ C''_{φ}	$0,253$ C'''_{φ}	Q т
0	0	0	0	0	0	0	0	0	$0,64$
0	$1,13$	$-0,37$	0	$0,76$	0	0	$0,82$	$-0,18$	$2,89$
0	$8,73$	$-1,47$	0	$7,26$	0	0	$3,25$	$-0,36$	$6,77$
0	$29,56$	$-3,29$	0	$26,27$	0	0	$7,31$	$-0,54$	$11,92$
0	$67,01$	$-5,69$	0	$61,32$	0	0	$12,63$	$-0,71$	$18,89$
0	$132,05$	$-8,90$	0	$123,15$	0	0	$19,77$	$-0,88$	$27,33$
0	$228,34$	$-12,78$	0	$215,56$	0	0	$28,36$	$-1,03$	$37,04$
0	$362,64$	$-17,21$	0	$345,43$	0	0	$38,20$	$-1,16$	$47,16$
0	$527,06$	$-21,80$	0	$505,26$	0	0	$48,40$	$-1,24$	
$2,52,834$ C_{φ}	$-2438,848$ C'_{φ}	$1054,260$ C''_{φ}	$184,248$ C'''_{φ}	M т. м.	$-32,892$ C_{φ}	$122,859$ C'_{φ}	$-108,847$ C''_{φ}	$47,052$ C'''_{φ}	Q т
$905,46$	$4565,45$	$-4060,16$	$-905,46$	$505,29$	$-10,82$	$-229,99$	$419,19$	$-231,23$	$-52,85$
$-280,79$	$6567,82$	$-5059,39$	$-923,08$	$304,56$	$3,35$	$-330,86$	$522,36$	$-235,73$	$-40,88$
$-1743,29$	$8733,59$	$-5941,42$	$-878,69$	$170,19$	$20,83$	$-439,96$	$613,42$	$-224,39$	$-30,10$
$170,175$ C_{φ}	$2,697$ C'_{φ}	$-126,116$ C''_{φ}	$100,277$ C'''_{φ}	M т. м.	$-30,107$ C_{φ}	$12,773$ C'_{φ}	$0,202$ C''_{φ}	$-9,466$ C'''_{φ}	Q т
$170,17$	0	0	0	$170,17$	$-30,11$	0	0	0	$-30,11$
$170,00$	$-0,05$	$22,70$	$-120,33$	$72,32$	$-30,08$	$-0,23$	$-0,04$	$11,36$	$-18,99$
$166,43$	$-0,39$	$90,68$	$-239,66$	$17,06$	$-29,44$	$-1,84$	$-0,15$	$22,62$	$-8,81$
$151,63$	$-1,31$	$202,79$	$-353,08$	$\infty 0$	$-26,83$	$-6,20$	$-0,33$	$33,33$	$\infty 0$
				$(0,03)$					$(-0,03)$

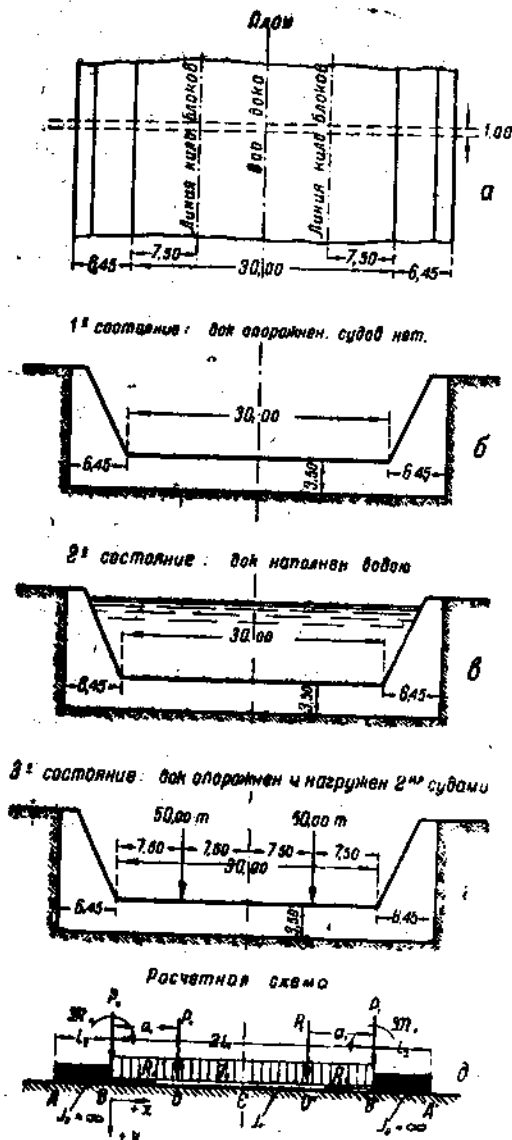
Вычисления производим в табличной форме (стр. 56), изложенным ранее способом.

После производства обычных проверок, методы которых изложены в таблице § 17 (стр. 230), переходим к построению эпюр для элементов деформации P , M и Q , показанных на фиг. 6 з, д, е.

Расчеты для других схем § 18 производятся аналогично рассмотренному примеру, руководствуясь правилами проверок, изложенными в таблице § 17.

§ 9. Пример расчета сухого дока на упругом основании.

Сухой док, предназначенный для ремонта двух судов, имеет ширину между внутренними гранями стен по низу 30,00 м. Суда располагаются симметрично, на расстоянии 7,50 м от оси. Ширина каждой стены в основании составляет 6,45 м. Предполагаемая толщина дна 3,50 м (фиг. 6 а, б). Док проектируется на основании из мелко-зернистого песка. Требуется проверить величины реакций грунта под дном при различных состояниях работы дока и определить величины изгибающих моментов и перерезывающих сил по всей ширине дна для подбора железной арматуры.



Фиг. 6.

Как всегда, расчет дока производим для элемента его шириною в 1,00 м вдоль оси.

Этот расчет может быть выполнен по схеме балки на упругом основании, имеющей участки различной жесткости. В виду большой высоты стен в сравнении с днищем можно принять, что балка на крайних своих участках, соответствующих ширине стен, имеет бесконечно большие значения моментов инерции, на среднем же участке, соответствующем камере дока, — конечное значение момента инерции.

Балка нагружена на среднем участке двумя сосредоточенными силами при наличии судов и равномерно распределенной нагрузкой от собственного веса, давления воды, находящейся в доке при наполненном его состоянии, и противодействия грунтовой воды снизу.

На крайних участках балка нагружена вертикальными и горизонтальными составляющими сил, зависящих от собственного веса стен, распора засыпки за ними с учетом давления грунтовых вод, противодействия воды снизу, дополнительной нагрузки на площадках стен, гидростатического давления воды на стены изнутри при наполненном состоянии дока и т. п.

В виду абсолютной жесткости крайних участков балки все силы, приложенные к этим участкам, могут быть сведены к вертикальным и горизонтальным сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 , приложенным в сечениях изменения моментов инерции балки. Силы P_0 являются суммой всех вертикальных составляющих активных сил, R_0 — суммой всех горизонтальных составляющих активных сил, приложенных к жестким участкам балки, а моменты M_0 — суммой моментов относительно середины высоты днища в месте изменения моментов инерции балки, всех активных сил, приложенных к жестким ее участкам.

Величины активных сил, приложенных к жестким участкам балки, а также величины сил и моментов P_0 , R_0 и M_0 определяются при заданных условиях обычным порядком и в настоящем примере считаются известными.

Сжимающая сила R_0 , приложенная по нейтральной оси балки, не вызывает изгиба балки и следовательно не учитывается в формулах для определения величин элементов деформации. Эта сила может быть учтена при расчете арматуры днища.

Расчетная схема дока приводится к изображенной на фиг. 6 д, которая по графической таблице схем соответствует 140.

Имеем следующие расчетные данные (обозначения см. § 17, стр. 227):

длина крайних участков балки $l_1 = 6,45$ м,

„ среднего участка балки $2l_1 = 30,00$ м,

ширина балки (расчетная) $d_1 = d_2 = 1,00$ м,

высота среднего участка балки $h_1 = 3,50$ м,

расстояние точек приложения сосредоточенных сил от сечения с изменением момента инерции $a_1 = 7,50$ м,

модуль упругости бетона $E_1 = E_2 = 2,1 \cdot 10^6 \text{ т/м}^2$,
 удельный вес бетона $\Delta = 2,30 \text{ т/м}^3$,
 коэффициент оседания основания $k = 4 \text{ кг/см}^2 = 4000 \text{ т/м}^2$,
 (по данным таблицы § 3, стр. 27).
 В дальнейшем будем рассматривать три состояния работы дока
 (фиг. 6 б, в, г).

Состояние 1-е. Док опорожнен. Судов нет.

Принимаем следующие значения активных сил:

Равномерно распределенная нагрузка от действия собственного
 веса балки и противодействия грунтовой воды снизу по длине днища

$$g_0 = 8,00 \text{ т/м}^2.$$

Равнодействующая вертикальных сил от действия собственного
 веса стен, вертикальных составляющих распора засыпки с учетом
 давления грунтовых вод, противодействия грунтовых вод снизу по
 ширине стен

$$P_0 = 210,00 \text{ т.}$$

Равнодействующая горизонтальных сил от действия составляю-
 щих распора засыпки за стенами с учетом давления грунтовых
 вод

$$R_0 = 50,00 \text{ т.}$$

Сумма моментов всех сил, приложенных к стенам, относительно
 середины высоты днища в сечении примыкания стен к среднему
 участку днища $M_0 = -510,00 \text{ т. м.}$

Сосредоточенные силы от веса судов

$$P_1 = 0.$$

Состояние 2-е. Док наполнен.

Равномерно распределенная нагрузка от действия активных сил,
 перечисленных в первом случае и веса воды

$$g_0 = 17,00 \text{ т/м}^2.$$

Равнодействующая вертикальных активных сил

$$P_0 = 210,00 \text{ т.}$$

Равнодействующая горизонтальных активных сил от действия
 сил, перечисленных в первом случае, и гидростатического давления
 воды на стены изнутри

$$R_0 = 9,50 \text{ т.}$$

Сумма моментов всех активных сил относительно прежней точки

$$M_0 = -702,50 \text{ т. м.}$$

Сосредоточенные силы от веса судов

$$P_1 = 0.$$

Состояние 3-е. Док опорожнен и загружен двумя судами.
Равномерно распределенная нагрузка, как в первом случае

$$g_0 = 8,00 \text{ т/м}^2.$$

Равнодействующая вертикальных активных сил

$$P_0 = 210,00 \text{ т.}$$

Равнодействующая горизонтальных активных сил

$$R_0 = 50,00 \text{ т.}$$

Сумма моментов всех активных сил относительно прежней точки

$$M_0 = -510,00 \text{ т. м.}$$

Сосредоточенные силы от веса судов

$$P_1 = 50,00 \text{ т.}$$

Расчет начнем с определения величин p_A и p_B — реакций грунта в точках A и B , пользуясь формулами схемы 140 и обозначениями § 17, причем не будем пока подставлять численные значения величин g_0 , P_0 , M_0 и P_1 .

Определим последовательно все постоянные величины, входящие в формулы для p_A и p_B с точностью пяти десятичных знаков.

Моменты инерции балки на среднем и крайних участках:

$$I_1 = \frac{d_1 h_1^3}{12} = \frac{1,00 \cdot 3,50^3}{12} = 3,57 \text{ м}^4, \quad I_2 = \infty.$$

Коэффициент измерителя жесткости:

$$m_1 = \sqrt[4]{\frac{k_1 d_1}{4 E_1 I_1}} = \sqrt[4]{\frac{4000 \cdot 1,00}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 3,57}} = 0,07599 \text{ м}^{-1};$$

$$m_1^2 = 0,005774,$$

$$\frac{1}{m_1} = 13,15963,$$

$$\frac{1}{m_1^3} = 173,17586.$$

Измеритель жесткости:

$$\lambda_1 = l_1 m_1 = \frac{33,00}{2} \cdot 0,07599 = 1,14;$$

$$2\lambda_1 = 2,28,$$

$$4\lambda_1 = 4,56,$$

$$\alpha_1 = a_1 m_1 = 7,50 \cdot 0,07599 = 0,57,$$

$$2\lambda_1 - \alpha_1 = 1,71,$$

$$\xi = l_2 m_1 = 6,45 \cdot 0,07599 = 0,49014.$$

По таблицам § 24 (стр. 338) находим для аргумента $\lambda_1 = 1,14$:

$$N_1 = 45,64517, \quad V_1 = 1,05047,$$

$$U_1 = 1,06857, \quad W_1 = 1,02526.$$

По таблицам § 21 (стр. 303) находим для аргумента $2\lambda_1 = 2,28$:

$$\begin{aligned}\cos h 2\lambda_1 &= 4,93948, & \cos 2\lambda_1 &= -0,65123, \\ \sin h 2\lambda_1 &= 4,83720, & \sin 2\lambda_1 &= 0,75888.\end{aligned}$$

Тогда по формулам [1], § 17 (стр. 227) получим:

$$\begin{aligned}C_{2\lambda_1} &= -4,93948 \cdot 0,65123 = -3,21674, \\ C'_{2\lambda_1} &= -4,83720 \cdot 0,65123 - 4,93948 \cdot 0,75888 = -6,89860, \\ C''_{2\lambda_1} &= -2 \cdot 4,83720 \cdot 0,75888 = -7,34171, \\ C'''_{2\lambda_1} &= -2(-4,83720 \cdot 0,65123 + 4,93948 \cdot 0,75888) = -1,19668.\end{aligned}$$

По таблицам § 21 (стр. 299) находим для аргумента $\alpha_1 = 0,57$:

$$\begin{aligned}\cos h \alpha_1 &= 1,16690, & \cos \alpha_1 &= 0,84190, \\ \sin h \alpha_1 &= 0,60137, & \sin \alpha_1 &= 0,53963.\end{aligned}$$

Тогда по формулам [1], § 17 (стр. 227) получим:

$$\begin{aligned}C_{\alpha_1} &= 1,16690 \cdot 0,84190 = 0,98241, \\ C'_{\alpha_1} &= 0,60137 \cdot 0,84190 - 1,16690 \cdot 0,53963 = -0,12340, \\ C''_{\alpha_1} &= -2 \cdot 0,60137 \cdot 0,53963 = -0,64903, \\ C'''_{\alpha_1} &= -2(0,60137 \cdot 0,84190 + 1,16690 \cdot 0,53963) = -2,27196.\end{aligned}$$

По таблицам § 21 (стр. 302) находим для аргумента $2\lambda_1 - \alpha_1 = 1,71$:

$$\begin{aligned}\cos h (2\lambda_1 - \alpha_1) &= 2,85491, & \cos (2\lambda_1 - \alpha_1) &= -0,13875, \\ \sin h (2\lambda_1 - \alpha_1) &= 2,67405, & \sin (2\lambda_1 - \alpha_1) &= 0,99033.\end{aligned}$$

Тогда по формулам [1], § 17 (стр. 227) получим:

$$\begin{aligned}C_{(2\lambda_1 - \alpha_1)} &= -2,85491 \cdot 0,13875 = -0,39612, \\ C'_{(2\lambda_1 - \alpha_1)} &= -2,67405 \cdot 0,13875 - 2,85491 \cdot 0,99033 = -3,19832, \\ C''_{(2\lambda_1 - \alpha_1)} &= -2 \cdot 2,67405 \cdot 0,99033 = -5,29638, \\ C'''_{(2\lambda_1 - \alpha_1)} &= -2(-2,67405 \cdot 0,13875 + 2,85491 \cdot 0,99033) = -4,91256.\end{aligned}$$

Теперь по формулам [4] того же параграфа можем определить величины:

$$\begin{aligned}R_1 &= 2 \cdot 1,06857 - \frac{4 \cdot 6,89860}{45,64517} = 1,53260, \\ S_1 &= -2 \cdot 1,05047 + \frac{4 \cdot 7,34171}{45,64517} = -1,45757, \\ T_1 &= 4 \cdot 1,02526 - \frac{4 \cdot 1,19668}{45,64617} = 3,99617.\end{aligned}$$

Вычислим значения слагаемых в формулах по схеме 140 для произвольных постоянных A_0 и D_0 :

$$\begin{aligned}C_{\alpha_1} + C_{(2\lambda_1 - \alpha_1)} &= 0,98241 - 0,39612 = 0,58729, \\ C'_{\alpha_1} + C'_{(2\lambda_1 - \alpha_1)} &= -0,12340 - 3,19832 = -3,32172, \\ C''_{\alpha_1} + C''_{(2\lambda_1 - \alpha_1)} &= -0,64903 - 5,29638 = -5,94541, \\ C'''_{\alpha_1} + C'''_{(2\lambda_1 - \alpha_1)} &= -2,27196 - 4,91256 = -7,18452.\end{aligned}$$

Теперь определим численные значения произвольных постоянных по формулам схемы 140.

$$A_0 = 2 \cdot 1,06857 \cdot 0,58629 - \frac{1}{2} \cdot 1,05047 \cdot 7,18452 + 3,32172 = 0,80114,$$

$$D_0 = \frac{1}{2} \cdot 1,05047 \cdot 0,58629 - \frac{1}{4} \cdot 1,02526 \cdot 7,18452 + \\ + \frac{1}{4} \cdot 5,94541 = -0,04721.$$

Переходим к вычислению отдельных элементов в формулах схемы 140 для величин реакций грунта p_A и p_B .

$$\xi = 0,49014, \quad \xi^3 = 0,11775,$$

$$\xi^2 = 0,24024, \quad \xi^4 = 0,05771,$$

$$\xi R_1 = 0,49014 \cdot 1,53260 = 0,75119,$$

$$\xi S_1 = 0,49014 \cdot (-1,45757) = -0,71441,$$

$$\xi T_1 = 0,49014 \cdot 3,99617 = 1,95868,$$

$$\xi^3 S_1 = -0,24024 \cdot 1,45757 = -0,35017,$$

$$\frac{\xi^2 S_1}{2} = -\frac{0,24024 \cdot 1,45757}{2} = -0,17508,$$

$$\frac{\xi^2 S_1}{6} = -\frac{0,24024 \cdot 1,45757}{6} = -0,05836,$$

$$\frac{\xi^2 S_1}{3} = -\frac{0,24024 \cdot 1,45757}{3} = -0,11672,$$

$$\frac{\xi^2 R_1 T_1}{2} = \frac{0,24024 \cdot 1,53260 \cdot 3,99617}{2} = 0,73568,$$

$$\frac{\xi^2 S_1^2}{2} = \frac{0,24024 \cdot (-1,45757)^2}{2} = 0,25520,$$

$$\frac{\xi^2 T_1}{6} = \frac{0,11775 \cdot 3,99617}{6} = 0,07842,$$

$$\frac{\xi^2 S_1^2}{3} = \frac{0,11775 \cdot (-1,45757)^2}{3} = 0,08339,$$

$$\frac{\xi^2 S_1^2}{6} = \frac{0,11775 \cdot (-1,45757)^2}{6} = 0,04169,$$

$$\frac{\xi^2 T_1}{3} = \frac{0,11775 \cdot 3,99617}{3} = 0,15684,$$

$$\frac{\xi^2 R_1 T_1}{3} = \frac{0,11775 \cdot 1,53260 \cdot 3,99617}{3} = 0,24039,$$

$$\frac{\xi^2 R_1 T_1}{6} = \frac{0,11775 \cdot 1,53260 \cdot 3,99617}{6} = 0,12018,$$

$$\frac{\xi^4 S_1^2}{12} = \frac{0,05771 \cdot (-1,45757)^2}{12} = 0,01022,$$

$$\frac{\xi^4 R_1 T_1}{12} = \frac{0,05771 \cdot 3,99617 \cdot 1,53260}{12} = 0,02945,$$

$$1 + \frac{\xi^2 S_1}{2} - \frac{\xi^2 T_1}{6} = 1,00000 - 0,17508 - 0,07842 = 0,74650,$$

$$1 - \frac{\xi S_1}{2} + \frac{\xi T_1}{3} = 1,00000 + 0,17508 + 0,15684 = 1,33192,$$

$$1 + \frac{\xi R_1}{2} - \frac{\xi S_1}{6} = 1,00000 + 0,37560 + 0,05836 = 1,43396,$$

$$\frac{\xi R_1}{2} - \frac{\xi S_1}{3} = 0,37560 + 0,11672 = 0,49232,$$

$$R_1 - \xi S_1 - \frac{\xi R_1 T_1}{6} + \frac{\xi S_1^2}{6} = 1,53260 + 0,71441 - 0,12018 + 0,04169 = 2,16852,$$

$$R_1 + \frac{\xi R_1 T_1}{3} - \frac{\xi S_1^2}{3} = 1,53260 + 0,24039 - 0,08339 = 1,68960,$$

$$S_1 - \xi T_1 - \frac{\xi R_1 T_1}{2} + \frac{\xi S_1^2}{2} = -1,45757 - 1,95868 - 0,73568 + 0,25520 = -3,89673,$$

$$S_1 + \frac{\xi R_1 T_1}{2} - \frac{\xi S_1^2}{2} = -1,45757 + 0,73568 - 0,25520 = -0,97709,$$

$$1 + \xi R_1 - \xi^2 S_1 + \frac{\xi^3 T_1}{3} - \frac{\xi^2 S_1^2}{12} + \frac{\xi^3 R_1 T_1}{12} = 1,00000 + 0,75119 + 0,35017 + 0,15684 - 0,01022 + 0,02945 = 2,27743.$$

Теперь имеем все численные данные для определения величин P_A и P_B .

$$P_A = \frac{g_0 \cdot 0,74650 + P_0 \cdot 0,07599 \cdot 2,16852 - \mathfrak{M}_0 \cdot 0,005774 \cdot 3,89673}{2,27743} + \frac{P_1 \cdot 0,07599 (0,80114 \cdot 0,74650 - 4 \cdot 0,49014 \cdot 0,04721 \cdot 1,43396)}{2,27743},$$

$$P_B = \frac{g_0 \cdot 1,33192 + P_0 \cdot 0,07599 \cdot 1,68960 - \mathfrak{M}_0 \cdot 0,005774 \cdot 0,97709}{2,27743} + \frac{P_1 \cdot 0,07599 (0,80114 \cdot 1,33192 + 4 \cdot 0,49014 \cdot 0,04721 \cdot 0,49232)}{2,27743},$$

или окончательно:

$$P_A = 0,327782 g_0 + 0,072356 P_0 - 0,009879 \mathfrak{M}_0 + 0,015526 P_1,$$

$$P_B = 0,584835 g_0 + 0,056376 P_0 - 0,002477 \mathfrak{M}_0 + 0,037125 P_1.$$

Последняя формула служит для определения величин реакций грунта P_A и P_B в крайних точках жестких участков балки, причем вид ее очень удобен для определения этих величин в случае переменных значений внешних нагрузок, как это имеет место в рассматриваемом примере.

Составим формулы такого же вида для величин произвольных постоянных интегрирования в формулах для элементов деформации в схеме 140, умножив их сразу на величину k . Тогда получим для участка балки BD :

$$A_1 k = 0,584835 g_0 + 0,056376 P_0 - 0,002477 \mathfrak{M}_0 + 0,037125 P_1 - g_0,$$

$$B_1 k = \frac{0,49014}{2} (0,327782 g_0 + 0,584835 g_0 + 0,072356 P_0 +$$

$$+ 0,056376 P_0 - 0,009879 M_0 - 0,002477 M_0 + 0,015526 P_1 + 0,037125 P_1) - P_0 \cdot 0,07599,$$

$$C_1 k = \frac{0,24024}{6} (2 \cdot 0,327782 g_0 + 0,584835 g_0 + 2 \cdot 0,072356 P_0 + 0,056376 P_0 - 2 \cdot 0,009879 M_0 - 0,002477 M_0 + 2 \cdot 0,015526 P_1 + 0,037125 P_1) + M_0 \cdot 0,005774,$$

$$D_1 k = (0,327782 g_0 - 0,584835 g_0 + 0,072356 P_0 - 0,056376 P_0 - 0,009879 M_0 + 0,002477 M_0 + 0,015526 P_1 - 0,037125 P_1) \cdot \frac{1}{4 \cdot 0,49014}$$

или окончательно:

для участка балки BD

$$A_1 k = -0,415165 g_0 + 0,056376 P_0 - 0,002477 M_0 + 0,037125 P_1$$

$$B_1 k = 0,223655 g_0 - 0,044442 P_0 - 0,003028 M_0 + 0,012903 P_1$$

$$C_1 k = 0,049666 g_0 + 0,008052 P_0 + 0,004884 M_0 + 0,002730 P_1$$

$$D_1 k = -0,131112 g_0 + 0,008151 P_0 - 0,003775 M_0 - 0,011017 P_1$$

Составим такие же формулы для участка балки DC:

$$P_1 m_1 C_{\alpha_1}' = -P_1 \cdot 0,07599 \cdot 0,12340 = -0,009377 P_1,$$

$$P_1 m_1 C_{\alpha_1} = P_1 \cdot 0,07599 \cdot 0,98241 = 0,074653 P_1,$$

$$P_1 m_1 \frac{1}{4} C_{\alpha_1}'' = -\frac{P_1 \cdot 0,07599 \cdot 2,27196}{4} = -0,043162 P_1,$$

$$P_1 m_1 \frac{1}{4} C_{\alpha_1}''' = -\frac{P_1 \cdot 0,07599 \cdot 0,64903}{4} = -0,012330 P_1$$

Окончательно будем иметь:

для участка балки DC

$$A_2 k = A_1 k - 0,009377 P_1$$

$$B_2 k = B_1 k - 0,074653 P_1$$

$$C_2 k = C_1 k + 0,043162 P_1$$

$$D_2 k = D_1 k - 0,012330 P_1$$

Группы формул, заключенные в рамки, дают возможность определить величины элементов деформации по формулам схемы 140 для различных условий работы дока.

Состояние 1. Док опорожнен. Судов нет.

В этом случае имеем (стр. 60):

$$g_0 = 8,00 \text{ т/м}^2; \quad P_0 = 210,00 \text{ т}; \quad M_0 = -510,00 \text{ т.м} \quad P_1 = 0.$$

Тогда по составленным формулам получим:

$$P_A = 2,62 + 15,19 + 5,04 = 22,85 \text{ т/м}^2,$$

$$P_B = 4,68 + 11,84 + 1,26 = 17,78 \text{ т/м}^2.$$

Для участков балки BD и DC:

$$A_1 k = -3,32132 + 11,83896 + 1,26327 = 9,78091; \quad \frac{A_1 k}{4} = 2,44523,$$

$$B_1k = 1,78924 - 9,33282 + 1,54428 = -5,99930; \frac{B_1k}{4} = -1,49983,$$

$$C_1k = 0,39733 + 1,69092 - 2,49084 = -0,40259,$$

$$D_1k = -1,04890 + 1,71171 + 1,92525 = 2,58806.$$

Определение величин элементов деформации для сечений балки, отстоящих друг от друга на 2,50 м, сделано в табличной форме изложенным ранее способом (стр. 67).

Последняя строчка в таблице служит для контроля правильности вычислений, так как в виду симметрии нагрузки величины p , M и Q в точках B и B_1 должны иметь одинаковые абсолютные значения.

Кроме того произведем обычную проверку:

$$\text{Внешняя нагрузка: } 210,0 + 15,00 \cdot 8,0 = 330,00 \text{ т,}$$

$$\text{площадь эпюры реакций в масштабе сил: } 132,08 + 199,34 = 331,42 \text{ т.}$$

$$\text{Невязка: } \frac{(331,42 - 330,00) \cdot 100}{330,00} = 0,43\%.$$

Состояние 2. Док наполнен.

В этом случае имеем (стр. 60):

$$g_0 = 17,00 \text{ т/м}^2; \quad P_0 = 210,00 \text{ т}; \quad M_0 = 702,50 \text{ т. м}; \quad P_1 = 0.$$

Тогда получим:

$$p_A = 5,57 + 15,19 + 6,94 = 27,70 \text{ т/м}^2,$$

$$p_B = 9,94 + 11,84 + 1,74 = 23,52 \text{ т/м}^2.$$

Для участков балки BD и DC :

$$A_1k = -7,05780 + 11,83896 + 1,74009 = 6,52125; \frac{A_1k}{4} = 1,63031,$$

$$B_1k = 3,80213 - 9,33282 + 2,12717 = -3,40352; \frac{B_1k}{4} = -0,85088,$$

$$C_1k = 0,84433 + 1,69092 - 3,43101 = -0,89577,$$

$$D_1k = -2,22890 + 1,71171 + 2,65194 = 2,13475.$$

Определение величин элементов деформации сделано в таблице (стр. 69).

Проверка:

$$\text{Внешняя нагрузка: } 210,0 + 15,00 \cdot 17,00 = 465,00 \text{ т.}$$

$$\text{Площадь эпюры реакций: } 165,50 + 300,13 = 465,63 \text{ т.}$$

$$\text{Невязка: } \frac{(465,63 - 465,00) \cdot 100}{465,00} = 0,35\%.$$

Состояние 3. Док опорожнен и загружен двумя судами.

В этом случае имеем (стр. 61):

$$g_0 = 8,00 \text{ т/м}^2; \quad P_0 = 210,00 \text{ т}; \quad M_0 = -510,00 \text{ т. м}; \quad P_1 = 50,00 \text{ т.}$$

Тогда получим:

$$p_A = 2,62 + 15,19 + 5,04 + 0,78 = 23,63 \text{ т/м}^2,$$

$$p_B = 4,68 + 11,84 + 1,26 + 1,86 = 19,64 \text{ т/м}^2.$$

x	$\varphi = x \pi$	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}	g	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}	$p \pi / m^2$
0 (B)	0	1,000	0	0	0	8,00	9,78	0	0	0	17,78
2,50	0,19	1,000	-0,005	-0,072	-0,760	8,00	9,78	0,03	0,03	1,97	15,87
5,00	0,38	0,997	-0,037	-0,289	-1,519	8,00	9,75	0,22	0,12	3,93	14,16
7,50 (D)	0,57	0,983	-0,13	-0,649	-2,272	8,00	9,61	0,75	0,26	5,88	12,74
10,00	0,76	0,944	-0,292	-1,151	-3,006	8,00	9,24	1,75	0,47	7,79	11,67
12,50	0,95	0,865	-0,569	-1,789	-3,697	8,00	8,46	3,41	0,72	9,58	11,01
15,00 (C)	1,14	0,720	-0,980	-2,551	-4,304	8,00	7,03	5,88	1,03	11,15	10,79
30,00 (B)	2,28	-3,217	-6,899	-7,342	-1,197	8,00	-31,47	41,39	2,96	3,10	17,78

Продолжение:

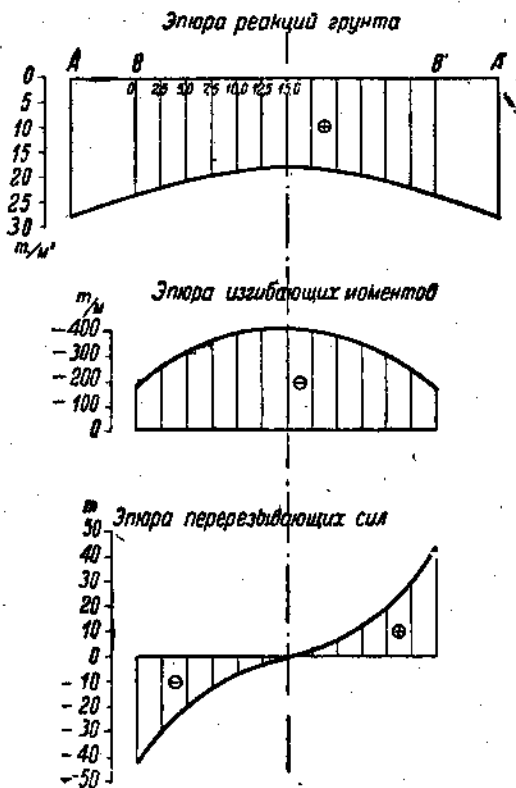
x	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}	$M \pi \cdot m$	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}	$Q \pi$
-69,719	448,190	-423,455	259,734	-	-78,949	-5,298	34,058	-32,178	-	-78,95
-69,72	0	0	0	-69,72	-78,95	0	0	0	0	-56,91
-69,72	2,24	30,49	197,40	-238,87	-78,95	0,03	2,45	24,46	24,46	-39,47
-69,51	-	122,38	394,54	-358,26	-78,71	0,20	-	48,88	48,88	-25,87
-68,46	-	274,82	590,12	-438,89	-77,53	0,65	-	73,11	73,11	-15,45
-65,81	-	130,87	780,76	-490,04	-74,53	1,55	-	96,73	96,73	-7,25
-60,31	-	757,56	960,24	-518,01	-68,29	3,01	-	118,96	118,96	∞
50,13	-	1079,81	1117,90	-527,45	56,76	5,19	-	138,49	138,49	0 (0,07)
224,29	-	3109,01	310,90	-69,66	253,98	36,55	-	250,05	38,52	79,00

Для участка балки BD:

$$A_1 k = -3,32132 + 11,83896 + 1,26327 + 1,85625 = 11,63716;$$

$$\frac{A_1 k}{4} = 2,90929,$$

Состояние 2^я



Фиг. 7.

$$B_1 k = 1,78924 - 9,33282 + 1,54428 + 0,64515 = -5,35415;$$

$$\frac{B_1 k}{4} = -1,33854,$$

$$C_1 k = 0,39733 + 1,69092 - 2,49084 + 0,13650 = -0,26609,$$

$$D_1 k = -1,04890 + 1,71171 + 1,92525 - 0,55085 = 2,03721.$$

Для участка балки DC:

$$A_2 k = 11,63716 - 0,46885 = 11,16831; \frac{A_2 k}{4} = 2,79208,$$

x	$\varphi = x\pi$	C_0	C_φ	C''_φ	C'''_φ	g	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	$p \text{ г/м}^3$
0(B)	0	1,000	0	0	0	17,00	6,52	0	0	0	23,52
2,50	0,19	1,000	-0,005	-0,072	-0,760	17,00	6,52	0,02	0,06	1,62	21,98
5,00	0,38	0,983	-0,037	-0,289	-1,519	17,00	6,51	0,13	0,26	3,25	20,65
7,50(D)	0,57	0,983	-0,123	-0,649	-2,272	17,00	6,41	0,42	0,58	4,86	19,55
10,00	0,76	0,944	-0,292	-1,151	-3,006	17,00	6,16	0,99	1,03	6,42	18,76
12,50	0,95	0,885	-0,569	-1,789	-3,697	17,00	5,64	1,94	1,60	7,89	18,29
15,00(C)	1,14	0,720	-0,980	-2,551	-4,304	17,00	4,69	3,34	2,28	9,19	18,12
30,00(B)	2,28	-3,217	-6,899	-7,342	-1,197	17,00	-20,98	23,48	6,58	2,56	23,52

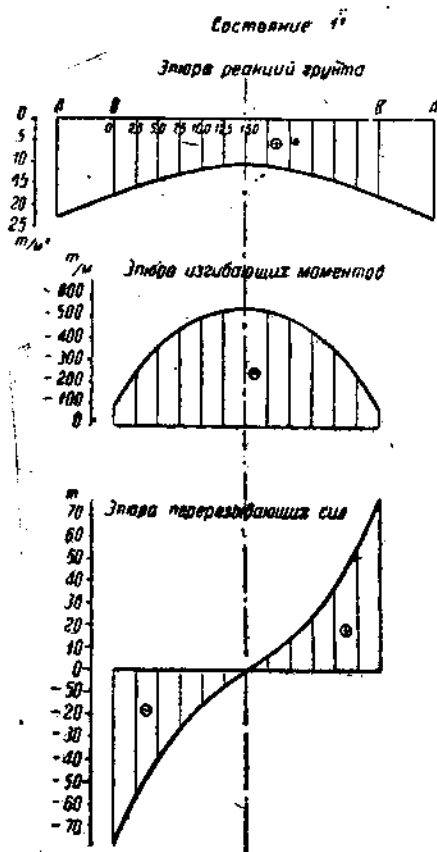
Продолжение.

x	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	$M \text{ т. м}$	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	$Q \text{ т.}$
-155,126	-155,13	369,687	-282,330	147,352	-44,789	-44,79	-11,788	28,093	-21,454	-44,79
-155,13	-155,13	0	0	0	-	-	0	0	0	-30,44
-154,66	-154,66	1,85	20,33	-111,99	-	-	0,06	2,02	16,31	-19,74
-152,33	-152,33	13,68	81,59	-223,83	-	-	0,44	8,12	32,59	-12,02
-146,44	-146,44	45,47	183,23	-334,78	-	-	1,45	18,23	48,74	-6,69
-134,18	-134,18	107,95	324,96	-442,94	-	-	3,44	32,34	64,49	-2,97
-111,54	-111,54	210,35	505,09	-544,76	-	-	6,71	50,26	79,32	∞ 0 (0,05)
499,04	499,04	-2550,47	2072,87	-634,20	-	-	11,55	71,64	92,34	44,84
				-176,38	-	-	81,33	-206,26	25,68	

$$B_2k = -5,35415 - 3,73265 = -9,08680; \quad \frac{B_2k}{4} = -2,27170,$$

$$C_2k = -0,26609 + 2,15810 = 1,89201,$$

$$D_2k = 2,03721 - 0,61650 = 1,42071.$$



Фиг. 8.

Определение величин элементов деформации сделано в таблице (стр. 71).

Проверка:

Внешняя нагрузка: $210,0 + 50,0 + 15,00 \cdot 8,00 = 380,00$ т.

Площадь эпюры реакций: $140,14 + 240,80 = 380,94$ т.

Невязка: $\frac{(380,94 - 380,00) 100}{380,00} = 0,25\%$.

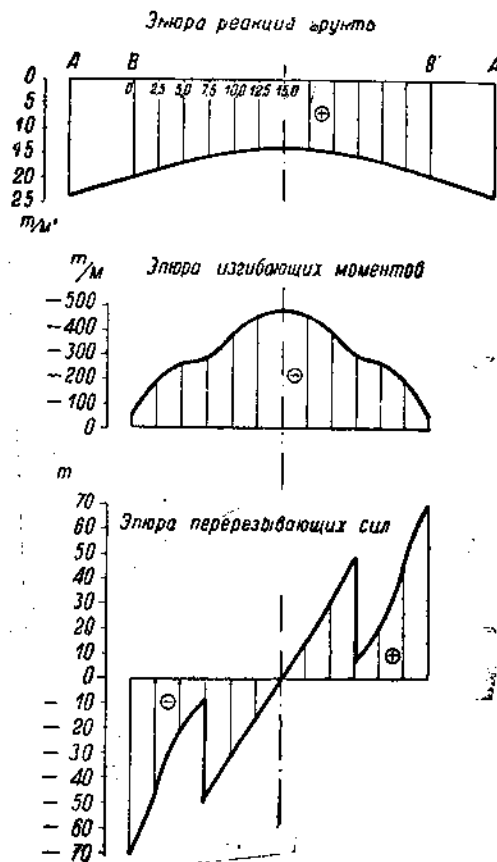
x	$\varphi = xm$	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	g	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	$-5,354$ C_φ	$-0,266$ C''_φ	$2,037$ C'''_φ	$p \tau/m^2$
0 (B)	0	1,000	0	0	0	8,00	11,64	0	0	0	0	0	0	19,64
2,50	0,19	1,000	-0,005	-0,072	-0,760	8,00	11,64	0,03	0,02	-1,55	0,03	0,02	-1,55	18,14
5,00	0,38	0,997	-0,037	-0,289	-1,519	8,00	11,60	0,20	0,08	-3,10	0,20	0,08	-3,10	16,18
7,50 (D)	0,57	0,98241	-0,12340	-0,64903	-2,27196	8,00	11,43	0,86	0,17	-4,3	0,86	0,17	-4,3	15,63
x	$\varphi = xm$	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	g	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ	$-9,087$ C_φ	$1,892$ C''_φ	$1,421$ C'''_φ	$p \tau/m^2$
7,50 (D)	0,57	0,98241	-0,12340	-0,6403	-2,27196	8,00	10,97	1,12	-1,23	-3,23	1,12	-1,23	-3,23	15,63
10,00	0,76	0,944	-0,292	-1,151	-3,006	8,00	10,55	2,65	-2,18	-4,27	2,65	-2,18	-4,27	14,75
12,50 (C)	0,95	0,865	-0,569	-1,789	-3,697	8,00	9,68	5,17	-3,38	-5,26	5,17	-3,38	-5,26	14,19
15,00 (B)	1,14	0,720	-0,980	-2,551	-4,304	8,00	8,03	8,91	-4,82	-6,12	8,91	-4,82	-6,12	14,00

Продолжение

$-46,080$ C_φ	$352,796$ C_φ	$-503,819$ C''_φ	$231,803$ C'''_φ	$M \tau \cdot m$	$-70,459$ C_φ	$-3,502$ C'_φ	$26,809$ C''_φ	$-38,235$ C'''_φ	$Q \tau$
-46,08	0	0	0	-46,08	-70,46	0	0	0	-70,46
-46,08	-1,77	36,27	-176,17	-187,75	-70,46	0,02	-1,93	29,10	-43,27
-45,94	-13,05	145,60	-352,11	-265,50	-70,24	0,13	-7,75	58,15	-19,71
-45,27	-43,54	326,99	-526,65	-288,47	-69,22	0,43	-17,40	86,98	0,79
$327,650$ C_φ	$246,033$ C'_φ	$-483,521$ C''_φ	$393,404$ C'''_φ	$M \tau \cdot m$	$-119,579$ C_φ	$24,898$ C'_φ	$18,696$ C''_φ	$-36,743$ C'''_φ	$Q \tau$
321,89	30,36	313,82	-893,80	-288,45	-117,48	8,07	-12,13	83,48	-49,20
309,30	71,84	555,53	-1182,57	-388,58	-112,88	7,27	-21,52	110,45	-31,22
283,42	139,99	865,02	-1454,41	-445,96	-103,44	14,17	-33,45	135,84	-15,20
235,58	241,11	1232,98	-1693,21	-465,76	-85,98	24,40	-47,67	158,14	$\infty 0 (0,09)$

В данном примере, кроме обычных, можно произвести дополнительно следующую поверку (см. табл. § 17, стр. 230).

Состояние 3^е



Фиг. 9.

которые наглядно показывают наибольшие значения элементов деформации M и Q по всей длине.

При расчете арматуры, кроме изгибающих моментов M и перерезывающих сил Q , можно учитывать сжимающую силу R , приложенную вдоль нейтральной оси балки.

Аналогично рассмотренному примеру решаются другие схемы § 19 и 20.

Величина изгибающего момента и перерезывающей силы в точке B могут быть определены по формулам:

$$M_B = \left(\frac{2p_A + p_B}{6} \right) l_1^2 + M_0 = 463,87 - 510,00 = -46,13 \text{ т. м.}$$

$$Q_B = \left(\frac{p_A + p_B}{2} \right) l_1 - P_0 = 139,55 - 210,00 = -70,45 \text{ т.}$$

Те же величины, определенные в таблице по формулам схемы 140, составляют:

$$M_B = -46,08 \text{ т.}$$

$$Q_B = -70,56 \text{ т.}$$

Как видим, невязка незначительна, и следовательно вычисление сделано правильно.

Построение эпюр для элементов деформации p , M и Q , для различных состояний дока, сделано на фиг. 7, 8 и 9 с выполнением правил знаков, указанных в схеме 140.

Для подбора арматуры следует сделать построение обьемлющих эпюр,

Глава третья.

БАЛКИ С ПОСТОЯННЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ.

§ 10. Обозначения и подстановки, принятые в формулах главы III.

Глава III содержит формулы для расчета балок на упругом основании, свободно лежащих на всем протяжении и опертых или защемленных по концам.

Для свободно лежащих балок, наиболее часто применяемых на практике, формулы выведены в предположении длинных и коротких балок; для балок, опертых и защемленных по концам, формулы приведены только для коротких балок, так как в этом случае опоры и защемления оказывают наибольшее влияние на деформацию балки.

При решении задачи для длинной балки с опертыми или защемленными концами можно применить помещенные здесь формулы для коротких балок; в этом случае, при желании, формулы могли бы быть несколько упрощены путем подстановки вместо функций вида N, U, V, W и n, u, v, w их предельных значений при аргументах, равных бесконечности, с заменой функций вида S_φ функциями E_φ , пользуясь формулами перехода [2] (стр. 75).

Формулы для балок, имеющих неподвижные опоры на концах, выведены в предположении, что опоры могут оказывать реакции, направленные как вверх, так и вниз.

В том случае, если конструкция опор позволяет воспринимать лишь реакции, направленные вверх, а по расчету реакции на одной или обеих опорах получаются направленными вниз, то расчет балки необходимо повторить по другим схемам в предположении отсутствия этих опор.

В формулах главы III приняты следующие обозначения.

Для элементов деформации:

R — реакция основания,

$\operatorname{tg} \nu$ — тангенс угла наклона нейтральной линии к горизонту,

M — изгибающий момент,

Q — перерезывающая сила.

Измерения величины элементов деформации зависят от соответствующих измерений, принятых для балки и внешних нагрузок.

При вычислении величин элементов деформации принимается следующее правило знаков: реакция основания считается положи-

тельной, если она направлена вверх; угол поворота сечения считается положительным, если он получен путем вращения в направлении против часовой стрелки; изгибающие моменты положительны, если они стремятся изогнуть балку выпуклостью книзу; перерезывающая сила положительна, если она стремится поднять вверх часть балки влево от рассматриваемого сечения.

Все формулы для определения величин элементов деформации выведены в предположении изгиба идеального невесомого стержня, лежащего на упругом основании: поэтому при рассмотрении случая весомой балки следует суммировать элементы деформации, полученные по формулам для данной схемы нагрузки с соответствующими элементами деформации от нагрузки, равномерно распределенной по всей длине балки и выражающей собою ее собственный вес.

Для нагрузок:

P — сосредоточенная сила,

M — момент,

g — ордината равномерно распределенной нагрузки или наибольшая ордината распределенной нагрузки, изменяющейся по линейному закону.

Формулы выведены в предположении действия нагрузок в направлениях, показанных на чертежах схем. Если требуется произвести расчет по имеющимся схемам, но при действии нагрузок в обратном направлении, то в формулах следует подставить вместо P , M , g соответственно $-P$, $-M$ и $-g$.

В том случае, если балка одновременно несет нагрузку разных видов, например, от сосредоточенной силы и момента и т. п., то для получения элементов деформации от совместного действия этих нагрузок, необходимо определить таковые по элементарным схемам от действия каждой нагрузки в отдельности и произвести затем алгебраическое суммирование полученных результатов.

Для основных размеров и коэффициентов:

l — половина длины балки,

a и b — участки балки,

x — абсцисса рассматриваемого сечения балки,

h — высота балки,

d — ширина балки, измеряемая перпендикулярно к плоскости чертежа,

$I = \frac{dh^3}{12}$ — момент инерции сечения балки относительно нейтральной линии,

E — модуль упругости материала балки,

k — коэффициент упругой податливости основания,

$m = \sqrt[4]{\frac{kd}{4EI}}$ — коэффициент измерителя жесткости балки,

$\lambda = l \cdot m$ — измеритель жесткости балки,

$\alpha = a \cdot m$, $\beta = b \cdot m$, $\varphi = x \cdot m$.

В формулах главы III приняты следующие подстановки:

$$\left. \begin{aligned} C_{\varphi} &= \cosh \varphi \cos \varphi, \\ C'_{\varphi} &= \sinh \varphi \cos \varphi - \cosh \varphi \sin \varphi, \\ C''_{\varphi} &= -2 \sinh \varphi \sin \varphi, \\ C'''_{\varphi} &= -2 (\sinh \varphi \cos \varphi + \cosh \varphi \sin \varphi). \end{aligned} \right\} [1]$$

$$\left. \begin{aligned} E_{\varphi} &= C_{\varphi} - \frac{1}{2} C'_{\varphi} + \frac{1}{4} C''_{\varphi}, \\ E'_{\varphi} &= -C_{\varphi} + C'_{\varphi} - \frac{1}{2} C''_{\varphi}, \\ E''_{\varphi} &= -C'_{\varphi} + C''_{\varphi} - \frac{1}{2} C'''_{\varphi}, \\ E'''_{\varphi} &= 2 C_{\varphi} - C'_{\varphi} + C''_{\varphi}. \end{aligned} \right\} [2]$$

$$\left. \begin{aligned} N &= \cosh 4\lambda + \cos 4\lambda - 2, \\ U &= \frac{\sinh 4\lambda - \sin 4\lambda}{N}, \\ V &= \frac{\cosh 4\lambda - \cos 4\lambda}{N}, \\ W &= \frac{\sinh 4\lambda + \sin 4\lambda}{N}. \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{при } \lambda = \infty : \\ &N = \infty, \\ &U = V = W = 1. \end{aligned} [3]$$

$$\left. \begin{aligned} N' &= \cosh 4\lambda + \cos 4\lambda + 2, \\ U' &= \frac{\sinh 4\lambda - \sin 4\lambda}{N'}, \\ V' &= \frac{\cosh 4\lambda - \cos 4\lambda}{N'}, \\ W' &= \frac{\sinh 4\lambda + \sin 4\lambda}{N'}. \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{при } \lambda = \infty : \\ &N' = \infty, \\ &U' = V' = W' = 1. \end{aligned} [4]$$

$$\left. \begin{aligned} N'' &= \sinh 4\lambda - \sin 4\lambda, \\ U'' &= \frac{\cosh 4\lambda + \cos 4\lambda + 2}{N''}, \\ V'' &= \frac{\cosh 4\lambda - \cos 4\lambda}{N''}, \\ W'' &= -\frac{\cosh 4\lambda + \cos 4\lambda - 2}{N''}. \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{при } \lambda = \infty : \\ &N'' = \infty, \\ &U'' = 1, \\ &V'' = W'' = -1. \end{aligned} [5]$$

$$\left. \begin{aligned} N''' &= \cosh 4\lambda - \cos 4\lambda, \\ U''' &= \frac{\sinh 4\lambda - \sin 4\lambda}{N'''}, \\ V''' &= \frac{\cosh 4\lambda + \cos 4\lambda + 2}{N'''}, \\ W''' &= \frac{\sinh 4\lambda + \sin 4\lambda}{N'''}. \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{при } \lambda = \infty : \\ &N''' = \infty, \\ &U''' = V''' = W''' = 1. \end{aligned} [6]$$

$$\left. \begin{aligned} n &= \sinh 2\lambda + \sin 2\lambda, \\ u &= \frac{\cosh 2\lambda + \cos 2\lambda + 2}{n}, \\ v &= \frac{\cosh 2\lambda - \cos 2\lambda}{n}, \\ w &= -\frac{\cosh 2\lambda + \cos 2\lambda - 2}{n}. \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{при } \lambda = \infty : \\ &n = \infty, \\ &u = 1, \\ &v = w = -1. \end{aligned} [7]$$

$$\left. \begin{aligned} n' &= \sin h \, 2\lambda - \sin 2\lambda, \\ u' &= \frac{\cos h \, 2\lambda + \cos 2\lambda + 2}{n'}, \\ v' &= -\frac{\cos h \, 2\lambda - \cos 2\lambda}{n'}, \\ w' &= -\frac{\cos 2\lambda + \cos 2\lambda - 2}{n'}. \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{при } \lambda = \infty: \\ &n' = \infty, \\ &u' = 1, \\ &v' = w' = -1. \end{aligned} \quad [8]$$

$$\left. \begin{aligned} n'' &= \cos h \, 2\lambda + \cos 2\lambda, \\ u'' &= \frac{\sin h \, 2\lambda - \sin 2\lambda}{n''}, \\ v'' &= \frac{\cos h \, 2\lambda + \cos 2\lambda + 2}{n''}, \\ w'' &= \frac{\sin h \, 2\lambda + \sin 2\lambda}{n''}. \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{при } \lambda = \infty: \\ &n'' = \infty, \\ &u'' = v'' = w'' = 1. \end{aligned} \quad [9]$$

$$\left. \begin{aligned} r &= C_{\alpha+\beta} - C_{\alpha}, \\ s &= C_{\alpha+\beta} - C_{\alpha'}, \\ t &= C_{\alpha+\beta} - C_{\alpha''}, \\ q &= C_{\alpha+\beta} - C_{\alpha'''} \end{aligned} \right\} [10]$$

В формулах [1, 3—9] — $\sin h$ и $\cos h$ — гиперболические синусы и косинусы; $\sin$ и $\cos$ — круговые синусы и косинусы.

Формулы [1, 2] применимы для любых аргументов, полагая φ равным α , β , λ , $\alpha + \beta$, $\varphi - \alpha$ и т. д.

Значения наиболее часто применяемых величин, определяемых приведенными выражениями, находятся по прилагаемым здесь таблицам:

для выражений	[1]	по таблицам	§ 22	{стр. 321},
"	"	"	"	" 335},
"	"	"	"	" 337},
"	"	"	"	" 342}.

Для остальных, более редко применяемых величин [4—6, 8—10] таблицы не составлялись: эти величины следует определять по приведенным здесь формулам, в которых значения $\sin$, $\sin h$, $\cos$ и $\cos h$ определяются по таблице § 21 (стр. 298).

В том случае, если приведенные в формулах величины входят в выражения для определения произвольных постоянных интегрирования A , B , C и D , то для получения их с большей точностью их следует определять по формулам, пользуясь таблицей § 21 (стр. 298), для определения величин $\sin$, $\sin h$, $\cos$ и $\cos h$.

Так же необходимо поступать в тех случаях, когда численные значения аргументов выходят за пределы приведенных таблиц.

Для контроля правильности произведенных расчетов следует производить проверки, руководствуясь указаниями следующей таблицы, в которой элементам деформации, определяемым по формулам, присвоены индексы, соответствующие рассматриваемым точкам.

С х е м а	Условия, которым должны удовлетворять элементы деформации			
	P	$\text{tg } \nu$	$M^1)$	$Q^1)$
Балки, свободно лежащие (короткие и длинные)	$\Sigma P = \Sigma P$ или $\Sigma P = \Sigma g$	—	$M_A =$ $= M_C = 0$	$Q_A =$ $= Q_C = 0$
Балки с неподвижной опорой на левом конце	$\Sigma P + Q_A = \Sigma P$ или $\Sigma P + Q_A = \Sigma g$ и $P_A = 0$	—	$M_A =$ $= M_C = 0$	$Q_C = 0$
Балки с неподвижными опорами на обоих концах	$\Sigma P + Q_A - Q_C = \Sigma P$ или $\Sigma P + Q_A - Q_C = \Sigma g$ и $P_A = P_C = 0$	—	$M_A =$ $= M_C = 0$	—
Балки, защемленные на левом конце	$\Sigma P + Q_A = \Sigma P$ или $\Sigma P + Q_A = \Sigma g$ и $P_A = 0$	$\text{tg } \nu_A = 0$	$M_C = 0$	$Q_C = 0$
Балки, защемленные на обоих концах	$\Sigma P + Q_A - Q_C = \Sigma P$ или $\Sigma P + Q_A - Q_C = \Sigma g$ и $P_A = P_C = 0$	$\text{tg } \nu_A =$ $= \text{tg } \nu_C = 0$	—	—
Балки с неподвижной опорой на левом конце, и защемленные на другом	$\Sigma P + Q_A - Q_C = \Sigma P$ или $\Sigma P + Q_A - Q_C = \Sigma g$ и $P_A = P_C = 0$	$\text{tg } \nu_C = 0$	$M_A = 0$	—

¹⁾ В случае нагрузки балок сосредоточенными силами или моментами на концах должны быть выполнены условия: M_A (или соответственно M_C) = $= |M|$ и Q_A (или соответственно Q_C) = $|P|$.

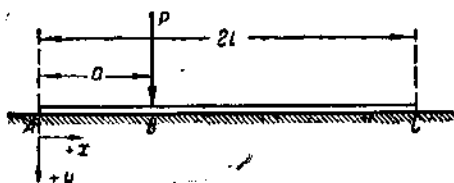
§ 11. Балки, свободно лежащие по всей длине.

А. Балки короткие.

СХЕМА 1.

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{Pm}{d} (A_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^3}{kd} (A_1 C_\varphi' - 4D_1 C_\varphi''),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi''' \right),$$

где

$$A_1 = 2UC_\alpha - C_\alpha + \frac{1}{2} VC_\alpha''',$$

$$D_1 = \frac{1}{2} VC_\alpha - \frac{1}{4} C_\alpha' + \frac{1}{4} WC_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{Pm}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^3}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi''),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = 2UC_\alpha + \frac{1}{2} VC_\alpha''',$$

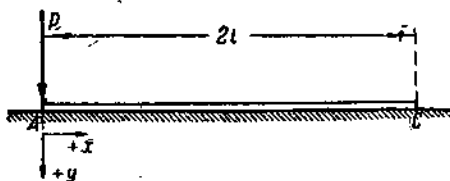
$$B_2 = -C_\alpha,$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} C_\alpha'',$$

$$D_2 = \frac{1}{2} VC_\alpha + \frac{1}{4} WC_\alpha''.$$

Сосредоточенная сила приложена на левом конце балки.

Начало координат на левом конце.



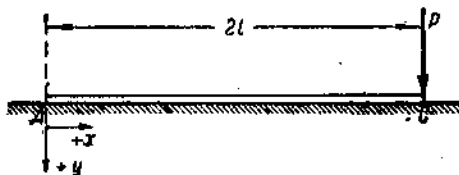
Для всей балки AC:

$$\begin{aligned} p &= \frac{Pm}{d} \left(2UC_{\varphi} - C'_{\varphi} + \frac{1}{2}VC'''_{\varphi} \right), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{Pm^3}{kd} \left(2UC'_{\varphi} - C''_{\varphi} - 2VC_{\varphi} \right), \\ M &= -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{2}UC''_{\varphi} - \frac{1}{4}C'''_{\varphi} - \frac{1}{2}VC'_{\varphi} \right), \\ Q &= -P \left(\frac{1}{2}UC'''_{\varphi} + C_{\varphi} - \frac{1}{2}VC''_{\varphi} \right). \end{aligned}$$

СХЕМА 3.

Сосредоточенная сила приложена на правом конце балки.

Начало координат на левом конце.



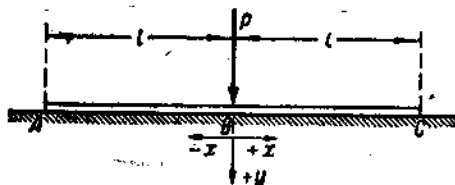
Для всей балки AC:

$$\begin{aligned} p &= \frac{Pm}{d} \cdot \frac{1}{N} (4C'_{2\lambda} C_{\varphi} + C''_{2\lambda} C'''_{\varphi}), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{Pm^3}{kd} \cdot \frac{1}{N} (4C'_{2\lambda} C'_{\varphi} - 4C''_{2\lambda} C_{\varphi}), \\ M &= -\frac{P}{m} \cdot \frac{1}{N} (C'_{2\lambda} C''_{\varphi} - C''_{2\lambda} C'_{\varphi}), \\ Q &= -P \cdot \frac{1}{N} (C'_{2\lambda} C'''_{\varphi} - C''_{2\lambda} C''_{\varphi}). \end{aligned}$$

СХЕМА 4.

Сосредоточенная сила приложена в середине балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BA :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC :

$$p = \frac{Pm}{d} \left(\frac{1}{2} u C_{\varphi} - \frac{1}{2} C'_{\varphi} - \frac{1}{4} v C''_{\varphi} \right),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Pm^2}{kd} \left(\frac{1}{2} u C'_{\varphi} - \frac{1}{2} C''_{\varphi} - \frac{1}{4} v C'''_{\varphi} \right),$$

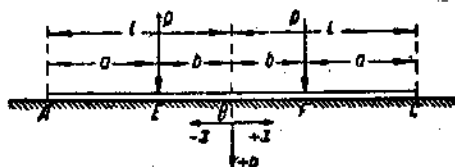
$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{8} u C''_{\varphi} - \frac{1}{8} C'''_{\varphi} + \frac{1}{4} v C_{\varphi} \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{8} u C'''_{\varphi} + \frac{1}{2} C_{\varphi} + \frac{1}{4} v C'_{\varphi} \right).$$

СХЕМА 5.

Две равные сосредоточенные силы приложены в любых сечениях симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки $\overline{BE}$:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF :

$$p = \frac{Pm}{d} (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Pm^2}{kd} (A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi'' \right),$$

$$\text{где } A_1 = u C_\beta - C_\beta - \frac{1}{2} v C_\beta'',$$

$$C_1 = -\frac{1}{2} v C_\beta + \frac{1}{4} w C_\beta' + \frac{1}{4} C_\beta''.$$

Для участка балки FC :

$$p = \frac{Pm}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Pm^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4 D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi'' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$\text{где } A_2 = u C_\beta - \frac{1}{2} v C_\beta'', B_2 = -C_\beta,$$

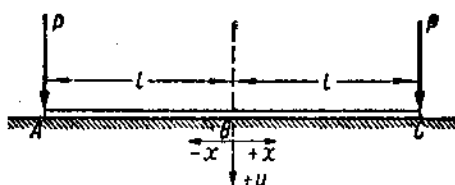
$$C_2 = -\frac{1}{2} v C_\beta + \frac{1}{4} w C_\beta',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\beta''.$$

СХЕМА 6.

Две равные сосредоточенные силы приложены на концах балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BA :

P — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC :

$$P = \frac{Pm}{d} \cdot \frac{1}{n} (4 C_{\lambda} C_{\varphi} + C_{\lambda}'' C_{\varphi}''),$$

$$\text{tg } \nu = - \frac{Pm^2}{kd} \cdot \frac{1}{n} (4 C_{\lambda} C_{\varphi}' + C_{\lambda}'' C_{\varphi}'''),$$

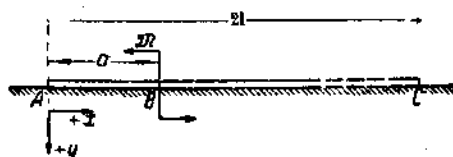
$$M = - \frac{P}{m} \cdot \frac{1}{n} (C_{\lambda} C_{\varphi}'' - C_{\lambda}'' C_{\varphi}),$$

$$Q = - P \cdot \frac{1}{n} (C_{\lambda} C_{\varphi}''' - C_{\lambda}''' C_{\varphi}).$$

СХЕМА 7.

Момент приложен в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} (A_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (A_1 C_\varphi' - 4 D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi''' \right),$$

где

$$A_1 = 2 V C_\alpha - 2 U C_\alpha' + C_\alpha'',$$

$$D_1 = W C_\alpha - \frac{1}{2} V C_\alpha' + \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4 D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = 2 V C_\alpha - 2 U C_\alpha',$$

$$B_2 = C_\alpha',$$

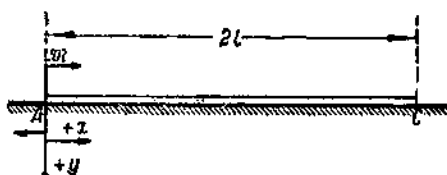
$$C_2 = -C_\alpha,$$

$$D_2 = W C_\alpha - \frac{1}{2} V C_\alpha'.$$

СХЕМА 8.

Момент приложен на левом конце балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = \frac{Mm^3}{d} (-2VC_{\varphi} + C_{\varphi}'' - WC_{\varphi}'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Mm^3}{kd} (-2VC_{\varphi}' + C_{\varphi}''' + 4WC_{\varphi}),$$

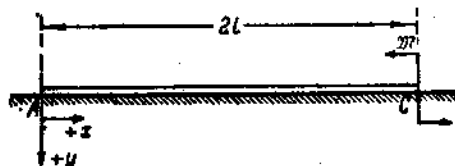
$$M = -M \left(-\frac{1}{2}VC_{\varphi}'' - C_{\varphi} + WC_{\varphi}' \right),$$

$$Q = -Mm \left(-\frac{1}{2}VC_{\varphi}''' - C_{\varphi}' + WC_{\varphi}'' \right).$$

СХЕМА 9.

Момент приложен на правом конце балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = \frac{Mm^3}{d} \cdot \frac{1}{N} (-4C_{2\lambda}'' C_{\varphi} - C_{2\lambda}''' C_{\varphi}'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Mm^3}{kd} \cdot \frac{1}{N} (-4C_{2\lambda}'' C_{\varphi}' + 4C_{2\lambda}''' C_{\varphi}),$$

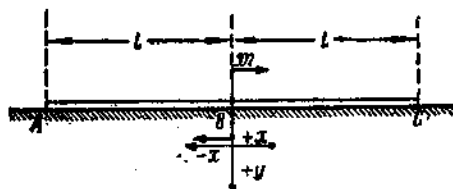
$$M = -M \cdot \frac{1}{N} (-C_{2\lambda}'' C_{\varphi}'' + C_{2\lambda}''' C_{\varphi}'),$$

$$Q = -Mm \cdot \frac{1}{N} (-C_{2\lambda}'' C_{\varphi}''' + C_{2\lambda}''' C_{\varphi}'').$$

СХЕМА 10.

Момент приложен в середине балки.

Начало координат в середине.



Для участка BA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC, с переменной знака,

$\text{tg } \nu$ — то же, без перемены знака,

M — то же, с переменной знака,

Q — то же, без перемены знака.

Для участка BC:

$$p = \frac{\mathfrak{M} m^2}{d} \left(\frac{1}{2} v' C_{\varphi} + \frac{1}{2} C_{\varphi}' - \frac{1}{4} u' C_{\varphi}'' \right),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{\mathfrak{M} m^2}{k d} \left(\frac{1}{2} v' C_{\varphi}'' + \frac{1}{2} C_{\varphi}''' + u' C_{\varphi} \right),$$

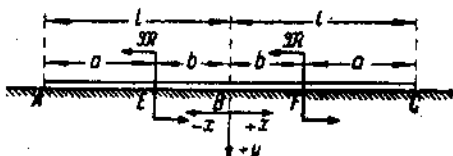
$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{8} v' C_{\varphi}''' - \frac{1}{2} C_{\varphi} + \frac{1}{4} u' C_{\varphi}'' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M} m \left(-\frac{1}{2} v' C_{\varphi} - \frac{1}{2} C_{\varphi}' + \frac{1}{4} u' C_{\varphi}'' \right).$$

СХЕМА 11.

Два равных момента, направленные в одну сторону, приложены в любых сечениях симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF, с переменной знака,
 $\text{tg } \nu$ — то же, без перемены знака,
 M — то же, с переменной знака,
 Q — то же, без перемены знака.

Для участка балки BF:

$$p = \frac{\mathfrak{M} m^2}{d} (B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{\mathfrak{M} m^2}{kd} (B_1 C_\varphi'' - 4 D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M} m \left(-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi'' \right),$$

$$\text{где } B_1 = -v' C_\beta - C_\beta' - \frac{1}{2} w' C_\beta'',$$

$$D_1 = \frac{1}{2} u' C_\beta + \frac{1}{4} v' C_\beta'' + \frac{1}{4} C_\beta''',$$

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC, с переменной знака,
 $\text{tg } \nu$ — то же, без перемены знака,
 M — то же, с переменной знака,
 Q — то же, без перемены знака.

Для участка балки FC:

$$p = \frac{\mathfrak{M} m^2}{d} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{\mathfrak{M} m^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4 D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi'' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M} m \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi'' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi \right),$$

$$\text{где } A_2 = -C_\beta',$$

$$B_2 = -v' C_\beta - \frac{1}{2} w' C_\beta'',$$

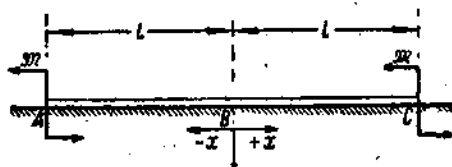
$$C_2 = -C_\beta,$$

$$D_2 = \frac{1}{2} u' C_\beta + \frac{1}{4} v' C_\beta''.$$

СХЕМА 12.

Два равных момента, направленные в одну сторону, приложены на концах балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC, с переменной знака,

$\text{tg } \nu$ — то же, без перемены знака,

M — то же, с переменной знака,

Q — то же, без перемены знака,

Для участка балки BC:

$$p = \frac{\mathfrak{M} m^2}{d} (BC'_{\varphi} + DC''_{\varphi}),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{\mathfrak{M} m^2}{k d} (BC''_{\varphi} - 4 DC'_{\varphi}),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} BC'''_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right),$$

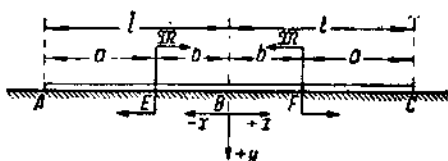
$$Q = -\mathfrak{M} m (-BC'_{\varphi} - DC''_{\varphi}),$$

$$\text{где } B = -\nu' C_{\lambda} - C'_{\lambda} - \frac{1}{2} \nu' C''_{\lambda},$$

$$D = \frac{1}{2} u' C_{\lambda} + \frac{1}{4} \nu' C'_{\lambda} + \frac{1}{4} C''_{\lambda}.$$

Два равных момента, направленные в разные стороны, приложены в любых сечениях симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF:

$$p = \frac{\mathfrak{M} m^2}{d} (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M} m^2}{k d} (A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M} m \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi' \right),$$

$$\text{где } A_1 = -u C_\beta + C_\beta'' + \frac{1}{2} v C_\beta''',$$

$$C_1 = C_\beta + \frac{1}{2} v C_\beta' - \frac{1}{4} w C_\beta''.$$

Для участка балки FC:

$$p = \frac{\mathfrak{M} m^2}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M} m^2}{k d} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4 D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M} m \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi'' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

$$\text{где } A_2 = -u C_\beta + \frac{1}{2} v C_\beta''',$$

$$B_2 = C_\beta',$$

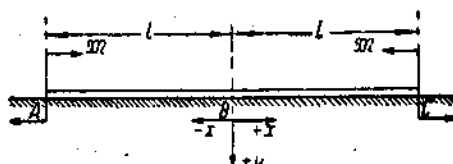
$$C_2 = \frac{1}{2} v C_\beta' - \frac{1}{4} w C_\beta'',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} C_\beta''.$$

СХЕМА 14.

Два равных момента, направленные в разные стороны, приложены на концах балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BA :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC :

$$p = \frac{\mathfrak{M} m^2}{d} \cdot \frac{1}{n} (-4 C'_\lambda C'_\varphi - C''_\lambda C''_\varphi),$$

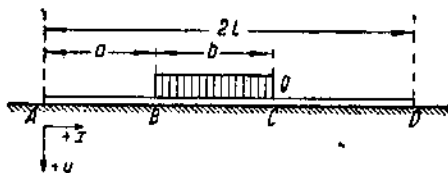
$$\text{tg } \nu = -\frac{\mathfrak{M} m^2}{kd} \cdot \frac{1}{n} (-4 C'_\lambda C'_\varphi - C''_\lambda C''_\varphi),$$

$$M = -\mathfrak{M} \cdot \frac{1}{n} (-C'_\lambda C'_\varphi + C''_\lambda C''_\varphi),$$

$$Q = -\mathfrak{M} m \cdot \frac{1}{n} (-C'_\lambda C'''_\varphi + C'''_\lambda C'_\varphi).$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(A_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_1 C_\varphi' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi''\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi'''\right),$$

где

$$A_1 = -r + \frac{1}{2}Vt - \frac{1}{2}Uq,$$

$$D_1 = -\frac{1}{4}s + \frac{1}{4}Wt - \frac{1}{8}Vq.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4}B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi''\right),$$

где

$$A_2 = -C_{\alpha+\beta} + \frac{1}{2}Vt - \frac{1}{2}Uq,$$

$$B_2 = -\frac{1}{4}C_\alpha'',$$

$$C_2 = \frac{1}{4}C_\alpha'',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4}C_{\alpha+\beta}' + \frac{1}{4}Wt - \frac{1}{8}Vq.$$

Для участка балки CD :

$$\dot{p} = g(A_3 C_\varphi + B_3 C'_\varphi + C_3 C''_\varphi + D_3 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \gamma = -\frac{gm}{k}(A_3 C'_\varphi + B_3 C''_\varphi + C_3 C'''_\varphi - 4D_3 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_3 C''_\varphi + \frac{1}{4}B_3 C'''_\varphi - C_3 C_\varphi - D_3 C'_\varphi\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_3 C'''_\varphi - B_3 C_\varphi - C_3 C'_\varphi - D_3 C''_\varphi\right),$$

где

$$A_3 = \frac{1}{2} Vt - \frac{1}{2} Uq,$$

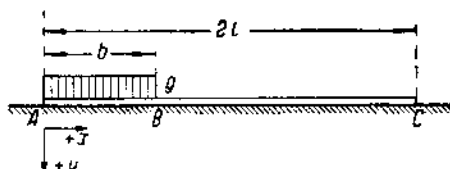
$$B_3 = \frac{1}{4} q,$$

$$C_3 = -\frac{1}{4} t,$$

$$D_3 = \frac{1}{4} Wt - \frac{1}{8} Vq.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на левом конце-
вом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g[1 + (A_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_1 C_\varphi' - 4 D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi''\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi''\right),$$

где

$$A_1 = -C_\beta + \frac{1}{2} V C_\beta'' - \frac{1}{2} U C_\beta''',$$

$$D_1 = -\frac{1}{4} C_\beta + \frac{1}{4} W C_\beta'' - \frac{1}{8} V C_\beta''.$$

Для участка балки BC:

$$p = g(A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4 D_2 C_\varphi''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi''\right),$$

где

$$A_2 = \frac{1}{2} V C_\beta'' - \frac{1}{2} U C_\beta''',$$

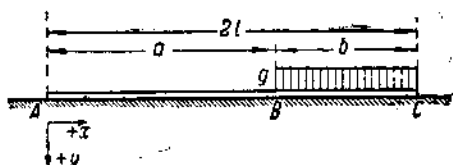
$$B_2 = \frac{1}{4} C_\beta''',$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} C_\beta'',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} W C_\beta'' - \frac{1}{8} V C_\beta''.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на правом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(A_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_1 C_\varphi' - 4D_1 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi''\right),$$

где

$$A_1 = C_\alpha - \frac{1}{2} V C_\alpha'' + \frac{1}{2} U C_\alpha''',$$

$$D_1 = \frac{1}{4} C_\alpha - \frac{1}{4} W C_\alpha'' + \frac{1}{8} V C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4}B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi'' - D_2 C_\varphi''\right),$$

где

$$A_2 = -\frac{1}{2} V C_\alpha'' + \frac{1}{2} U C_\alpha''',$$

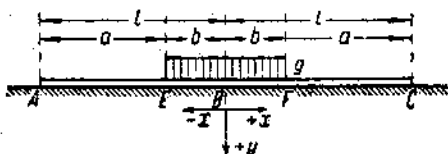
$$B_2 = -\frac{1}{4} C_\alpha''',$$

$$C_2 = \frac{1}{4} C_\alpha'',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} W C_\alpha'' + \frac{1}{8} V C_\alpha''.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на среднем участке симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF:

$$p = g [1 + (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi'')],$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi'' \right),$$

$$\text{где } A_1 = -C_\beta - \frac{1}{2} v C_\beta' - \frac{1}{4} u C_\beta''',$$

$$C_1 = \frac{1}{4} w C_\beta + \frac{1}{4} C_\beta' + \frac{1}{8} v C_\beta''',$$

Для участка балки FC:

$$p = g (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' - 4 D_2 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi'' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi \right),$$

$$\text{где } A_2 = -\frac{1}{2} v C_\beta' - \frac{1}{4} u C_\beta''',$$

$$B_2 = \frac{1}{4} C_\beta''',$$

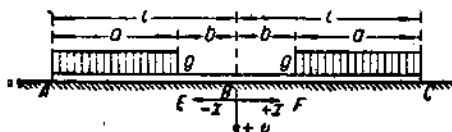
$$C_2 = \frac{1}{4} w C_\beta + \frac{1}{8} v C_\beta''',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\beta'.$$

СХЕМА 19.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на концевых участках симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF:

$$p = g(A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k}(A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi''\right),$$

$$\text{где } A_1 = C_\beta + \frac{1}{2}vC_\beta' + \frac{1}{4}uC_\beta'',$$

$$C_1 = -\frac{1}{4}wC_\beta' - \frac{1}{4}C_\beta'' - \frac{1}{8}vC_\beta''',$$

Для участка балки FC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - D_2 C_\varphi'')],$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4}B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi''\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi'' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'\right),$$

$$\text{где } A_2 = \frac{1}{2}vC_\beta' + \frac{1}{4}uC_\beta'',$$

$$B_2 = -\frac{1}{4}C_\beta''',$$

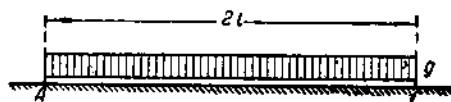
$$C_2 = -\frac{1}{4}wC_\beta' - \frac{1}{8}vC_\beta'',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4}C_\beta'.$$

СХЕМА 20.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем протяжении балки.

Начало координат в любом сечении.

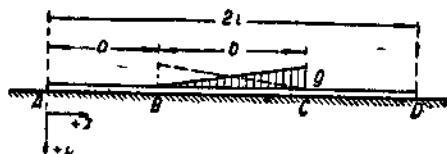


Для всей балки AC :

$$\begin{aligned} p &= q, \\ \operatorname{tg} \nu &= 0, \\ M &= 0, \\ Q &= 0. \end{aligned}$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned} p &= \frac{g}{\beta} (A_1 C_{\varphi} + D_1 C_{\varphi}'''), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} (A_1 C_{\varphi}' - 4 D_1 C_{\varphi}'), \\ M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_{\varphi}'' - D_1 C_{\varphi}'' \right), \\ Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A C_{\varphi}''' - D_1 C_{\varphi}'' \right), \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{2} \left[\beta \left(-2 C_{\alpha+\beta} + VC_{\alpha+\beta}'' - UC_{\alpha+\beta}''' \right) - Vs + Ut - \frac{1}{2} q \right], \\ D_1 &= \frac{1}{4} \left[\beta \left(-C_{\alpha+\beta} + WC_{\alpha+\beta}' - \frac{1}{2} VC_{\alpha+\beta}'' \right) + r - Ws + \frac{1}{2} Vt \right]; \end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{2} \left[\beta \left(2 C_{\alpha} - VC_{\alpha}'' + UC_{\alpha}''' \right) + Vs - Ut + \frac{1}{2} q \right], \\ D_1 &= \frac{1}{4} \left[\beta \left(C_{\alpha} - WC_{\alpha}' + \frac{1}{2} VC_{\alpha}'' \right) - r + Ws - \frac{1}{2} Vt \right]. \end{aligned}$$

Для участка балки BC:

$$\begin{aligned} p &= \frac{g}{\beta} [F + (A_2 C_{\varphi} + B_2 C_{\varphi}' + C_2 C_{\varphi}'' + D_2 C_{\varphi}''')], \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_2 C_{\varphi}' + B_2 C_{\varphi}'' + C_2 C_{\varphi}''' - 4 D_2 C_{\varphi}')], \\ M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_{\varphi}'' + \frac{1}{4} B_2 C_{\varphi}''' - C_2 C_{\varphi}' - D_2 C_{\varphi}'' \right), \\ Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_{\varphi}''' - B_2 C_{\varphi}' - C_2 C_{\varphi}'' - D_2 C_{\varphi}'' \right), \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi - \alpha, \quad F' = 1,$$

$$\begin{aligned}
A_2 &= \frac{1}{2} \left[\beta \left(-2C_{\alpha+\beta}' + VC_{\alpha+\beta}'' - UC_{\alpha+\beta}''' \right) - Vs + Ut - \frac{1}{2} C_{\alpha+\beta}''' \right], \\
B_2 &= \frac{1}{4} C_{\alpha}'', \\
C_2 &= -\frac{1}{4} C_{\alpha}', \\
D_2 &= \frac{1}{4} \left[\beta \left(-C_{\alpha+\beta}' + WC_{\alpha+\beta}'' - \frac{1}{2} VC_{\alpha+\beta}''' \right) + C_{\alpha+\beta} - Ws + \right. \\
&\quad \left. + \frac{1}{2} Vt \right];
\end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned}
F &= \alpha + \beta - \varphi, \quad F' = -1, \\
A_2 &= \frac{1}{2} \left[\beta \left(-VC_{\alpha}' + UC_{\alpha}'' \right) + Vs - Ut + \frac{1}{2} C_{\alpha+\beta}''' \right], \\
B_2 &= -\frac{1}{4} (\beta C_{\alpha}'' + C_{\alpha}'), \\
C_2 &= \frac{1}{4} (\beta C_{\alpha}' + C_{\alpha}), \\
D_2 &= \frac{1}{4} \left[\beta \left(-WC_{\alpha}' + \frac{1}{2} VC_{\alpha}'' \right) - C_{\alpha+\beta} + Ws - \frac{1}{2} Vt \right].
\end{aligned}$$

Для участка балки CD:

$$\begin{aligned}
p &= \frac{g}{\beta} (A_2 C_{\varphi}' + B_2 C_{\varphi}'' + C_2 C_{\varphi}''' + D_2 C_{\varphi}'''), \\
\lg v &= -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C_{\varphi}' + B_2 C_{\varphi}'' + C_2 C_{\varphi}''' - 4 D_2 C_{\varphi}'), \\
M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_{\varphi}'' + \frac{1}{4} B_2 C_{\varphi}''' - C_2 C_{\varphi}' - D_2 C_{\varphi}' \right), \\
Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_{\varphi}''' - B_2 C_{\varphi}' - C_2 C_{\varphi}'' - D_2 C_{\varphi}'' \right),
\end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

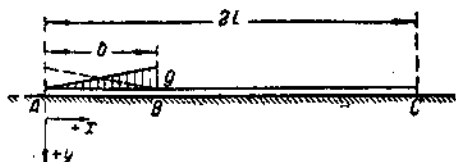
$$\begin{aligned}
A_2 &= \frac{1}{2} [\beta (VC_{\alpha+\beta}'' - UC_{\alpha+\beta}''') - Vs + Ut], \\
B_2 &= \frac{1}{4} (\beta C_{\alpha+\beta}''' - t), \\
C_2 &= \frac{1}{4} (-\beta C_{\alpha+\beta}'' + s), \\
D_2 &= \frac{1}{4} \left[\beta \left(WC_{\alpha+\beta}'' - \frac{1}{2} VC_{\alpha+\beta}''' \right) - Ws + \frac{1}{2} Vt \right];
\end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned}
A_2 &= \frac{1}{2} [\beta (-VC_{\alpha}'' + UC_{\alpha}''') + Vs - Ut], \\
B_2 &= \frac{1}{4} (-\beta C_{\alpha}''' + t), \\
C_2 &= \frac{1}{4} (\beta C_{\alpha}'' - s), \\
D_2 &= \frac{1}{4} \left[\beta \left(-WC_{\alpha}'' + \frac{1}{2} VC_{\alpha}''' \right) + Ws - \frac{1}{2} Vt \right].
\end{aligned}$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на левом конечном участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{g}{\beta} [F + (A_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi''')], \\
 \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_1 C'_\varphi - 4 D_1 C'_\varphi)], \\
 M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi - D_1 C''_\varphi \right), \\
 Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - D_1 C'''_\varphi \right),
 \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1;$$

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{1}{2} \left[\beta \left(-2 C_\beta + V C''_\beta - U C'''_\beta \right) - V C'_\beta + U C'_\beta - \frac{1}{2} C''_\beta \right], \\
 D_1 &= \frac{1}{4} \left[\beta \left(-C'_\beta + W C''_\beta - \frac{1}{2} V C'''_\beta \right) + C_\beta - W C'_\beta + \frac{1}{2} V C''_\beta \right];
 \end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \beta - \varphi, \quad F' = -1;$$

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{1}{2} \left(V C'_\beta - U C''_\beta + \frac{1}{2} C''_\beta \right), \\
 D_1 &= \frac{1}{4} \left(-C_\beta + W C'_\beta - \frac{1}{2} V C''_\beta \right).
 \end{aligned}$$

Для участка балки BC:

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{g}{\beta} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi + C_2 C'_\varphi + D_2 C''_\varphi), \\
 \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4 D_2 C'_\varphi), \\
 M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\
 Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),
 \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{2} [\beta (VC''_{\beta} - UC'''_{\beta}) - VC'_{\beta} + UC''_{\beta}],$$

$$B_2 = \frac{1}{4} (\beta C'''_{\beta} - C''_{\beta}),$$

$$C_2 = \frac{1}{4} (-\beta C''_{\beta} + C'_{\beta}),$$

$$D_2 = \frac{1}{4} \left[\beta \left(WC''_{\beta} - \frac{1}{2} VC'''_{\beta} \right) - WC'_{\beta} + \frac{1}{2} VC''_{\beta} \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{2} (VC'_{\beta} - UC''_{\beta}),$$

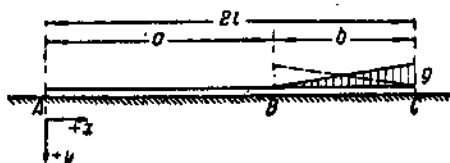
$$B_2 = \frac{1}{4} C''_{\beta},$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} C'_{\beta},$$

$$D_2 = \frac{1}{4} \left(WC'_{\beta} - \frac{1}{2} VC''_{\beta} \right).$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на правом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} (A_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_1 C_\varphi' - 4 D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi''' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_1 = \frac{1}{2} \left(VC'_\alpha - UC''_\alpha + \frac{1}{2} C'''_\alpha \right),$$

$$D_1 = \frac{1}{4} \left(-C_\alpha + WC'_\alpha - \frac{1}{2} VC''_\alpha \right);$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_1 = \frac{1}{2} \left[\beta \left(2 C_\alpha - VC''_\alpha + UC'''_\alpha \right) - VC'_\alpha + UC''_\alpha - \frac{1}{2} C'''_\alpha \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{4} \left[\beta \left(C_\alpha - WC''_\alpha + \frac{1}{2} VC'''_\alpha \right) + C_\alpha - WC'_\alpha + \frac{1}{2} VC''_\alpha \right].$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi)],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4 D_2 C_\varphi)],$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi - \alpha, \quad F' = 1,$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (VC'_\alpha - UC''_\alpha),$$

$$B_2 = \frac{1}{4} C''_\alpha,$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} C'_\alpha,$$

$$D_2 = \frac{1}{4} \left(WC'_\alpha - \frac{1}{2} VC'_\alpha \right);$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = 2\lambda - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_2 = \frac{1}{2} [\beta (-VC''_\alpha + UC'''_\alpha) - VC'_\alpha + UC''_\alpha],$$

$$B_2 = \frac{1}{4} (-\beta C'''_\alpha - C'_\alpha),$$

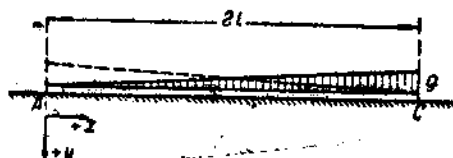
$$C_2 = \frac{1}{4} (\beta C'_\alpha + C'_\alpha),$$

$$D_2 = \frac{1}{4} \left[\beta \left(-WC''_\alpha + \frac{1}{2} VC''_\alpha \right) - WC'_\alpha + \frac{1}{2} VC''_\alpha \right].$$

СХЕМА 24.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

при возрастающей слева направо нагрузке:

$$p = \frac{g\varphi}{2\lambda},$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{2\lambda k},$$

$$M = 0,$$

$$Q = 0;$$

при убывающей слева направо нагрузке:

$$p = g \left(1 - \frac{\varphi}{2\lambda} \right),$$

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{gm}{2\lambda k},$$

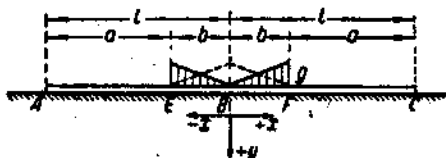
$$M = 0,$$

$$Q = 0.$$

СХЕМА 25.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на среднем участке симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF :

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi'' + D_1 C_\varphi''')],$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi''' - 4 D_1 C_\varphi'')],$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi' - C_1 C_\varphi' - D_1 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi''' \right),$$

где для возрастающей от середины к концам нагрузки:

$$F = \varphi, F' = 1,$$

$$A_1 = \frac{1}{2} \left[\beta \left(-2 C_\beta - v C_\beta' - \frac{1}{2} u C_\beta'' \right) - v + v C_\beta + \frac{1}{2} u C_\beta' - \frac{1}{2} C_\beta'' \right],$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \left[\beta \left(w C_\beta + C_\beta' + \frac{1}{2} v C_\beta'' \right) + w - w C_\beta - C_\beta' - \frac{1}{2} v C_\beta'' \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{4};$$

для убывающей от середины к концам нагрузки:

$$F = \beta - \varphi, F' = -1,$$

Для участка балки EA :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

$$A_1 = \frac{1}{2} \left(v - v C_\beta - \frac{1}{2} u C_\beta' + \frac{1}{2} C_\beta''' \right),$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \left(-w + w C_\beta + C_\beta' + \frac{1}{2} v C_\beta' \right),$$

$$D_1 = -\frac{1}{4}.$$

Для участка балки FC :

$$p = \frac{g}{\beta} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4 D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где для возрастающей от середины к концам нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{2} \left[\beta \left(-v C_\beta - \frac{1}{2} u C_\beta''' \right) - v + v C_\beta + \frac{1}{2} u C_\beta' \right],$$

$$B_2 = \frac{1}{4} (\beta C_\beta''' - C_\beta''),$$

$$C_2 = \frac{1}{4} \left[\beta \left(w C_\beta' + \frac{1}{2} v C_\beta'' \right) + w - w C_\beta - \frac{1}{2} v C_\beta' \right],$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (\beta C_\beta - C_\beta + 1);$$

для убывающей от середины к концам нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{2} \left(v - v C_\beta - \frac{1}{2} u C_\beta' \right),$$

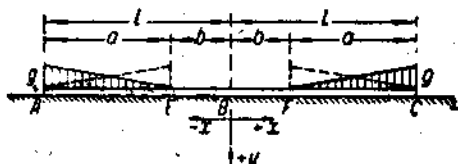
$$B_2 = \frac{1}{4} C_\beta',$$

$$C_2 = \frac{1}{4} \left(-w + w C_\beta + \frac{1}{2} v C_\beta' \right),$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (C_\beta - 1).$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на концевых участках симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака

Для участка балки BF:

$$p = \frac{g}{a} (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{ak} (A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{am^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{am} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi' \right),$$

где для возрастающей от середины к концам нагрузки:

$$A_1 = \frac{1}{2} \left(-v C_\beta - \frac{1}{2} u C_\beta'' + \frac{1}{2} C_\beta''' \right),$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \left(w C_\beta + C_\beta' + \frac{1}{2} v C_\beta'' \right);$$

для убывающей от середины к концам нагрузки:

$$A_1 = \frac{1}{2} \left[a \left(2 C_\beta + v C_\beta' + \frac{1}{2} u C_\beta''' \right) + v C_\beta + \frac{1}{2} u C_\beta'' - \frac{1}{2} C_\beta''' \right],$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \left[a \left(-w C_\beta - C_\beta' - \frac{1}{2} v C_\beta''' \right) - w C_\beta - C_\beta' - \frac{1}{2} v C_\beta'' \right].$$

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

Для участка балки FC:

$$p = \frac{g}{a} [F + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

$$\begin{aligned}\text{tg } \nu &= -\frac{gm}{ak} [F' + (A_2 C_\varphi' + \\ &+ B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi)], \\ M &= -\frac{gd}{am^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi'' - \right. \\ &\quad \left. - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right), \\ Q &= -\frac{gd}{am} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' - B_2 C_\varphi - \right. \\ &\quad \left. - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),\end{aligned}$$

где для возрастающей от середины к концам нагрузки:

$$\begin{aligned}F &= \varphi - \beta, \quad F' = 1, \\ A_2 &= \frac{1}{2} \left(-v C_\beta - \frac{1}{2} u C_\beta'' \right), \\ B_2 &= \frac{1}{4} C_\beta'', \\ C_2 &= \frac{1}{4} \left(w C_\beta + \frac{1}{2} v C_\beta'' \right), \\ D_2 &= \frac{1}{4} C_\beta;\end{aligned}$$

для убывающей от середины к концам нагрузки:

$$\begin{aligned}F &= \lambda - \varphi, \quad F' = -1, \\ A_2 &= \frac{1}{2} \left[\alpha \left(v C_\beta' + \frac{1}{2} u C_\beta''' \right) + \right. \\ &\quad \left. + v C_\beta + \frac{1}{2} u C_\beta'' \right], \\ B_2 &= \frac{1}{4} (-\alpha C_\beta''' - C_\beta'), \\ C_2 &= \frac{1}{4} \left[\alpha \left(-w C_\beta' - \frac{1}{2} v C_\beta''' \right) - \right. \\ &\quad \left. - w C_\beta - \frac{1}{2} v C_\beta'' \right], \\ D_2 &= \frac{1}{4} (-\alpha C_\beta' - C_\beta).\end{aligned}$$

СХЕМА 27.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на левой и правой половинах симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC,

$\text{tg } v$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\lambda} [F + (AC_{\varphi} + CC'_{\varphi} + DC''_{\varphi})],$$

$$\text{tg } v = -\frac{gm}{\lambda k} [F' + (AC'_{\varphi} + CC'''_{\varphi} - 4DC_{\varphi})],$$

$$M = -\frac{gd}{\lambda m^2} \left(\frac{1}{4} AC'_{\varphi} - CC_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\lambda m} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - CC'_{\varphi} - DC''_{\varphi} \right),$$

где для возрастающей от середины к концам нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1;$$

$$A = -\frac{1}{2} v,$$

$$C = \frac{1}{4} w,$$

$$D = \frac{1}{4};$$

для убывающей от середины к концам нагрузки:

$$F = \lambda - \varphi, \quad F' = -1;$$

$$A = \frac{1}{2} v,$$

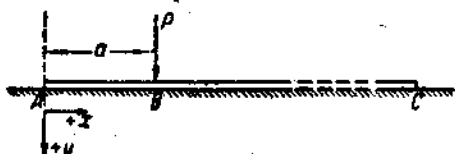
$$C = -\frac{1}{4} w,$$

$$D = -\frac{1}{4}.$$

СХЕМА 28.

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{Pm}{d} \left(2E_\alpha C_\varphi + \frac{1}{4} E_\alpha''' C_\varphi'' \right),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^2}{kd} (2E_\alpha C_\varphi' - E_\alpha''' C_\varphi''),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{2} E_\alpha C_\varphi'' - \frac{1}{4} E_\alpha''' C_\varphi''' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{2} E_\alpha C_\varphi''' - \frac{1}{4} E_\alpha''' C_\varphi'''' \right).$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{Pm}{d} \left(2C_\alpha E_\varphi + \frac{1}{4} C_\alpha''' E_\varphi''' \right),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^2}{kd} (2C_\alpha E_\varphi' - C_\alpha''' E_\varphi''),$$

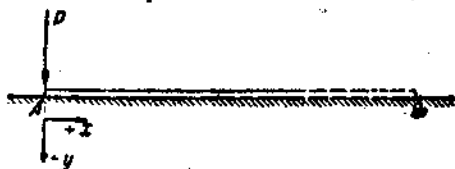
$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{2} C_\alpha E_\varphi'' - \frac{1}{4} C_\alpha''' E_\varphi''' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{2} C_\alpha E_\varphi''' - \frac{1}{4} C_\alpha''' E_\varphi'''' \right).$$

СХЕМА 29.

Сосредоточенная сила приложена на левом конце балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = \frac{Pm}{d} \cdot 2E_\varphi,$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^2}{kd} \cdot 2E_\varphi',$$

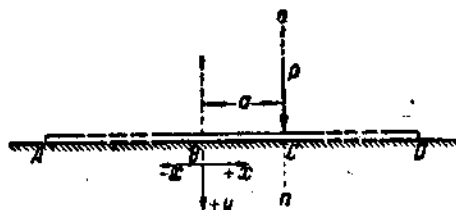
$$M = -\frac{P}{m} \cdot \frac{1}{2} E_\varphi'',$$

$$Q = -P \cdot \frac{1}{2} E_\varphi'''.$$

СХЕМА 30.

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении балки.

Начало координат слева от точки приложения силы.



Для участка балки CA

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка CD относительно оси n — n ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки CD:

$$p = \frac{Pm}{a} \cdot -\frac{1}{2} E'_{\varphi-\alpha},$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Pm^2}{kd} \cdot -\frac{1}{2} E''_{\varphi-\alpha},$$

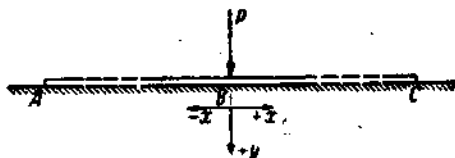
$$M = -\frac{P}{m} \cdot -\frac{1}{8} E'''_{\varphi-\alpha},$$

$$Q = -P \cdot \frac{1}{2} E_{\varphi-\alpha}.$$

СХЕМА 31.

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении балки.

Начало координат совпадает с точкой приложения силы.



Для участка балки BA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC:

$$p = \frac{Pm}{a} \cdot -\frac{1}{2} E'_{\varphi},$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Pm^2}{kd} \cdot -\frac{1}{2} E''_{\varphi},$$

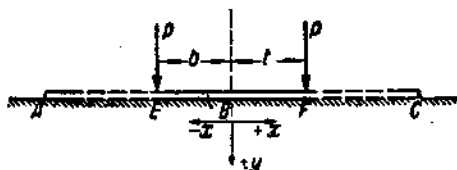
$$M = -\frac{P}{m} \cdot -\frac{1}{8} E'''_{\varphi},$$

$$Q = -P \cdot \frac{1}{2} E_{\varphi}.$$

СХЕМА 32.

Две равные сосредоточенные силы приложены в любых сечениях балки.

Начало координат в середине между точками приложения сил.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF:

$$p = \frac{P_m}{d} \left(-E_\beta' C_\varphi + \frac{1}{4} E_\beta''' C_\varphi' \right),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{P_m^2}{kd} \left(-E_\beta' C_\varphi' + \frac{1}{4} E_\beta''' C_\varphi'' \right),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(-\frac{1}{4} E_\beta' C_\varphi'' - \frac{1}{4} E_\beta''' C_\varphi \right),$$

$$Q = -P \left(-\frac{1}{4} E_\beta' C_\varphi''' - \frac{1}{4} E_\beta''' C_\varphi' \right).$$

Для участка балки FC:

$$p = \frac{P_m}{d} \left(-C_\beta E_\varphi' + \frac{1}{4} C_\beta' E_\varphi''' \right),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{P_m^2}{kd} \left(-C_\beta E_\varphi'' - C_\beta' E_\varphi \right),$$

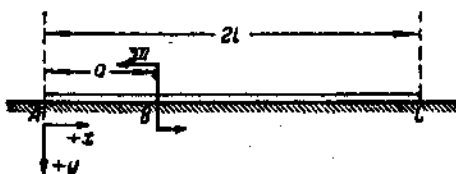
$$M = -\frac{P}{m} \left(-\frac{1}{4} C_\beta E_\varphi''' - \frac{1}{4} C_\beta' E_\varphi' \right),$$

$$Q = -P \left(C_\beta E_\varphi - \frac{1}{4} C_\beta' E_\varphi'' \right).$$

СХЕМА 33.

Момент приложен в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} (-2E'_\alpha C_\varphi + E_\alpha C''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (-2E'_\alpha C'_\varphi - 4E_\alpha C_\varphi),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(-\frac{1}{2} E'_\alpha C''_\varphi - E_\alpha C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \left(-\frac{1}{2} E'_\alpha C'''_\varphi - E_\alpha C''_\varphi \right).$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} (-2C'_\alpha E_\varphi + C_\alpha E''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (-2C'_\alpha E'_\varphi - 4C_\alpha E_\varphi),$$

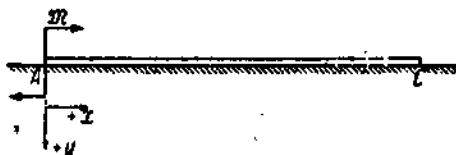
$$M = -\mathfrak{M} \left(-\frac{1}{2} C'_\alpha E''_\varphi - C_\alpha E'_\varphi \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \left(-\frac{1}{2} C'_\alpha E'''_\varphi - C_\alpha E''_\varphi \right).$$

СХЕМА 34.

Момент приложен на левом конце балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} \cdot -E''_\varphi,$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} \cdot 4E_\varphi,$$

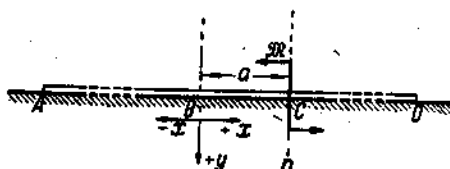
$$M = -\mathfrak{M} \cdot E'_\varphi,$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \cdot E'_\varphi.$$

СХЕМА 35.

Момент приложен в любом сечении балки.

Начало координат слева от точки приложения момента.



Для участка балки CA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка CD относительно оси $n-n$, с переменной знака,

$\text{tg } \nu$ — то же, без перемены знака,

M — то же, с переменной знака,

Q — то же, без перемены знака.

Для участка балки CD:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} \cdot \frac{1}{2} E''_{\varphi-a},$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} \cdot \frac{1}{2} E'''_{\varphi-a},$$

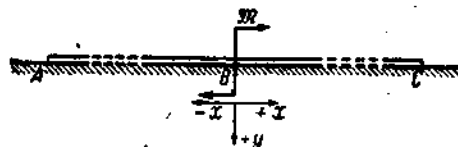
$$M = -\mathfrak{M} \cdot \frac{1}{2} E_{\varphi-a},$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \cdot \frac{1}{2} E'_{\varphi-a}.$$

СХЕМА 36.

Момент приложен в любом сечении балки.

Начало координат совпадает с точкой приложения момента.



Для участка балки BA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC, с переменной знака,

$\text{tg } \nu$ — то же, без перемены знака,

M — то же, с переменной знака,

Q — то же, без перемены знака.

Для участка балки BC:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} \cdot \frac{1}{2} E''_{\varphi},$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} \cdot \frac{1}{2} E'''_{\varphi},$$

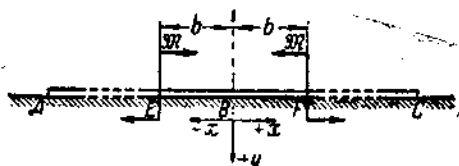
$$M = -\mathfrak{M} \cdot \frac{1}{2} E_{\varphi},$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \cdot \frac{1}{2} E'_{\varphi}.$$

СХЕМА 37.

Два равных момента, направленные в разные стороны, приложены в любых сечениях балки.

Начало координат в середине между точками приложения моментов.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF:

$$p = \frac{Mm^2}{d} (E_\beta'' C_\varphi + E_\beta C_\varphi''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Mm^2}{kd} (E_\beta'' C_\varphi' + E_\beta C_\varphi'''),$$

$$M = -M \left(\frac{1}{4} E_\beta'' C_\varphi'' - E_\beta C_\varphi' \right),$$

$$Q = -Mm \left(\frac{1}{4} E_\beta'' C_\varphi''' - E_\beta C_\varphi'' \right).$$

Для участка балки FC:

$$p = \frac{Mm^2}{d} \left(C_\beta' E_\varphi' - \frac{1}{4} C_\beta''' E_\varphi''' \right),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Mm^2}{kd} (C_\beta' E_\varphi'' + C_\beta''' E_\varphi'),$$

$$M = -M \left(\frac{1}{4} C_\beta' E_\varphi''' + \frac{1}{4} C_\beta''' E_\varphi' \right),$$

$$Q = -Mm \left(-C_\beta' E_\varphi + \frac{1}{4} C_\beta''' E_\varphi' \right).$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned} p &= g(A_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi'''), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{k}(A_1 C_\varphi' - 4D_1 C_\varphi'), \\ M &= -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi''\right), \\ Q &= -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi'''\right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= -\frac{1}{2}E_{\alpha+\beta}''' + \frac{1}{2}E_\alpha''', \\ D_1 &= \frac{1}{4}E_{\alpha+\beta}'' - \frac{1}{4}E_\alpha''. \end{aligned}$$

Для участка балки BC:

$$\begin{aligned} p &= g[1 + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')], \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'), \\ M &= -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4}B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'\right), \\ Q &= -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi''\right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2 &= -\frac{1}{2}E_{\alpha+\beta}''' - \frac{1}{2}C_\alpha'' + \frac{1}{2}C_\alpha''', \\ B_2 &= -\frac{1}{4}C_\alpha'', \\ C_2 &= \frac{1}{4}C_\alpha'', \\ D_2 &= \frac{1}{4}E_{\alpha+\beta}'' - \frac{1}{4}C_\alpha'' + \frac{1}{8}C_\alpha'''. \end{aligned}$$

Для участка балки CD :

$$p = g(A_2 E_\varphi + D_2 E_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (A_2 E_\varphi' - 4D_2 E_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 E_\varphi'' - D_2 E_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 E_\varphi''' - D_2 E_\varphi''' \right),$$

где

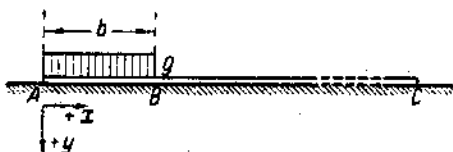
$$A_2 = -\frac{1}{2} C_{\alpha+\beta}''' + \frac{1}{2} C_\alpha''',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_{\alpha+\beta}'' - \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

СХЕМА 39.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на левом конце-вом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned} p &= g \left[1 + \left(-\frac{1}{2} E_{\beta}''' C_{\varphi} + \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi}''' \right) \right], \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{k} \left(-\frac{1}{2} E_{\beta}''' C_{\varphi}' - E_{\beta}'' C_{\varphi} \right), \\ M &= -\frac{gd}{m^2} \left(-\frac{1}{8} E_{\beta}''' C_{\varphi}'' - \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi}' \right), \\ Q &= -\frac{gd}{m} \left(-\frac{1}{8} E_{\beta}''' C_{\varphi}''' - \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi}'' \right). \end{aligned}$$

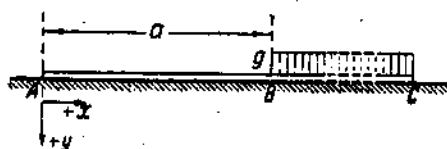
Для участка балки BC:

$$\begin{aligned} p &= g \left(-\frac{1}{2} C_{\beta}''' E_{\varphi} + \frac{1}{4} C_{\beta}'' E_{\varphi}''' \right), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{k} \left(-\frac{1}{2} C_{\beta}''' E_{\varphi}' - C_{\beta}'' E_{\varphi} \right), \\ M &= -\frac{gd}{m^2} \left(-\frac{1}{8} C_{\beta}''' E_{\varphi}'' - \frac{1}{4} C_{\beta}'' E_{\varphi}' \right), \\ Q &= -\frac{gd}{m} \left(-\frac{1}{8} C_{\beta}''' E_{\varphi}''' - \frac{1}{4} C_{\beta}'' E_{\varphi}'' \right). \end{aligned}$$

СХЕМА 40.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на правом
концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned} p &= g \left(\frac{1}{2} E''_a C_\varphi - \frac{1}{4} E''_a C''_\varphi \right), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{k} \left(\frac{1}{2} E''_a C'_\varphi + E''_a C_\varphi \right), \\ M &= -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{8} E'''_a C''_\varphi + \frac{1}{4} E''_a C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{8} E'''_a C''_\varphi + \frac{1}{4} E''_a C'_\varphi \right). \end{aligned}$$

Для участка балки BC:

$$\begin{aligned} p &= g \left[1 + \left(\frac{1}{2} C''_a E_\varphi - \frac{1}{4} C'_a E''_\varphi \right) \right], \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{k} \left(\frac{1}{2} C''_a E'_\varphi + C'_a E_\varphi \right), \\ M &= -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{8} C''_a E''_\varphi + \frac{1}{4} C'_a E'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{8} C''_a E''_\varphi + \frac{1}{4} C'_a E'_\varphi \right). \end{aligned}$$

СХЕМА 41.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем
протяжении балки.

Начало координат в любом сечении.



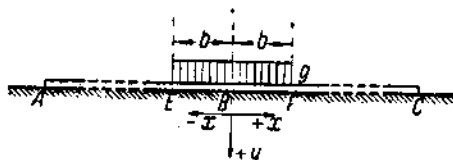
Для всей балки AC:

$$\begin{aligned} p &= g, \\ \operatorname{tg} \nu &= 0, \\ M &= 0, \\ Q &= 0. \end{aligned}$$

СХЕМА 42.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на любом участке балки.

Начало координат в середине нагруженного участка.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF:

$$p = g \left[1 + \left(-E_{\beta} C_{\varphi} + \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi}'' \right) \right],$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} \left(-E_{\beta} C_{\varphi}' + \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi}''' \right),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(-\frac{1}{4} E_{\beta} C_{\varphi}'' - \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(-\frac{1}{4} E_{\beta} C_{\varphi}''' - \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi}' \right).$$

Для участка балки FC:

$$p = g \left(\frac{1}{4} C_{\beta}''' E_{\varphi}' + \frac{1}{4} C_{\beta}' E_{\varphi}''' \right),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} \left(\frac{1}{4} C_{\beta}''' E_{\varphi}'' - C_{\beta}' E_{\varphi}''' \right),$$

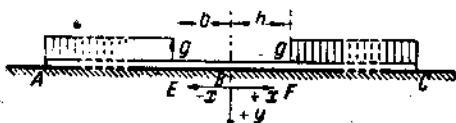
$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{16} C_{\beta}''' E_{\varphi}''' - \frac{1}{4} C_{\beta}' E_{\varphi}'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(-\frac{1}{4} C_{\beta}''' E_{\varphi} - \frac{1}{4} C_{\beta}' E_{\varphi}'' \right).$$

СХЕМА 43.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на концевых участках балки.

Начало координат в середине ненагруженного участка,



Для участка балки BE :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF :

$$p = g \left(E_{\beta} C_{\varphi} - \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi}'' \right),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} \left(E_{\beta} C_{\varphi}' - \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi}''' \right),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} E_{\beta} C_{\varphi}'' + \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} E_{\beta} C_{\varphi}''' + \frac{1}{4} E_{\beta}'' C_{\varphi}' \right).$$

Для участка балки FC :

$$p = g \left[1 + \left(-\frac{1}{4} C_{\beta}''' E_{\varphi}' - \frac{1}{4} C_{\beta} E_{\varphi}''' \right) \right],$$

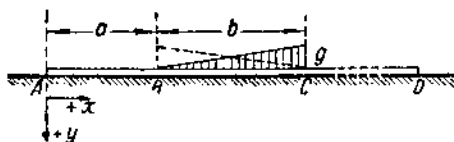
$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} \left(-\frac{1}{4} C_{\beta}''' E_{\varphi}'' + C_{\beta} E_{\varphi}'' \right),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(-\frac{1}{16} C_{\beta}''' E_{\varphi}''' + \frac{1}{4} C_{\beta} E_{\varphi}' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} C_{\beta}''' E_{\varphi} + \frac{1}{4} C_{\beta} E_{\varphi}'' \right).$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} (A_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{g m}{\beta k} (A_1 C_\varphi' - 4 D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{g d}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\frac{g d}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi''' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_1 = \frac{1}{2} \left(-\beta E_{\alpha+\beta}''' + E_{\alpha+\beta}'' - E_\alpha'' \right),$$

$$D_1 = \frac{1}{4} \left(\beta E_{\alpha+\beta}'' - E_{\alpha+\beta}' + E_\alpha' \right);$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_1 = \frac{1}{2} \left(\beta E_\alpha''' - E_{\alpha+\beta}'' + E_\alpha'' \right),$$

$$D_1 = \frac{1}{4} \left(-\beta E_\alpha'' + E_{\alpha+\beta}' - E_\alpha' \right).$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{g m}{\beta k} [F' + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4 D_2 C_\varphi')],$$

$$M = -\frac{g d}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{g d}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} F &= \varphi - \alpha, \quad F' = 1, \\ A_2 &= \frac{1}{2} \left(-\beta E''_{\alpha+\beta} + E''_{\alpha+\beta} + C'_\alpha - C''_\alpha \right), \\ B_2 &= \frac{1}{4} C''_\alpha, \\ C_2 &= -\frac{1}{4} C'_\alpha, \\ D_2 &= \frac{1}{4} \left(\beta E''_{\alpha+\beta} - E'_{\alpha+\beta} + C'_\alpha - \frac{1}{2} C''_\alpha \right); \end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} F &= \alpha + \beta - \varphi, \quad F' = -1, \\ A_2 &= \frac{1}{2} [\beta (-C''_\alpha + C'''_\alpha) - E''_{\alpha+\beta} - C'_\alpha + C''_\alpha], \\ B_2 &= -\frac{1}{4} (\beta C'''_\alpha + C''_\alpha), \\ C_2 &= \frac{1}{4} (\beta C'_\alpha + C'_\alpha), \\ D_2 &= \frac{1}{4} \left[\beta (-C''_\alpha + \frac{1}{2} C'''_\alpha) + E'_{\alpha+\beta} - C'_\alpha + \frac{1}{2} C''_\alpha \right]. \end{aligned}$$

Для участка балки CD:

$$\begin{aligned} p &= \frac{g}{\beta} (A_2 E_\varphi + D_2 E''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{g m}{\beta k} (A_2 E'_\varphi - 4 D_2 E_\varphi), \\ M &= -\frac{g d}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 E''_\varphi - D_2 E'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{g d}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 E'''_\varphi - D_2 E''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{1}{2} (-\beta C''_{\alpha+\beta} + t), \\ D_2 &= \frac{1}{4} (\beta C''_{\alpha+\beta} - s); \end{aligned}$$

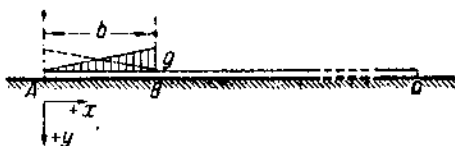
для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{1}{2} (\beta C''_\alpha - t), \\ D_2 &= \frac{1}{4} (-\beta C''_\alpha + s). \end{aligned}$$

СХЕМА 45.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на левом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_1 C_\varphi' - 4D_1 C_\varphi')],$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi''' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1,$$

$$A_1 = \frac{1}{2} (-\beta E_\beta''' + E_\beta''),$$

$$D_1 = \frac{1}{4} (\beta E_\beta'' - E_\beta');$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \beta - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_1 = -\frac{1}{2} E_\beta'',$$

$$D_1 = \frac{1}{4} E_\beta'.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} (A_2 E_{\varphi} + D_2 E_{\varphi}'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_2 E_{\varphi}' - 4D_2 E_{\varphi}'),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 E_{\varphi}'' - D_2 E_{\varphi}'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 E_{\varphi}''' - D_2 E_{\varphi}''' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{2} (-\beta C_{\beta}''' + C_{\beta}'),$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (\beta C_{\beta}' - C_{\beta});$$

для убывающей слева направо нагрузки:

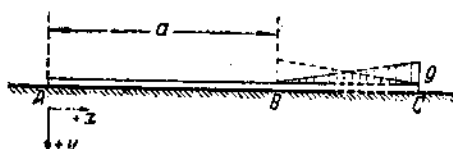
$$A_2 = -\frac{1}{2} C_{\beta}',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_{\beta}.$$

СХЕМА 46.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, приложена на правом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} (A_1 C_{\varphi} + D_1 C_{\varphi}'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_1 C_{\varphi}' - 4D_1 C_{\varphi}'),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_{\varphi}'' - D_1 C_{\varphi}'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_{\varphi}''' - D_1 C_{\varphi}''' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_1 = -\frac{1}{2} E_{\alpha}'',$$

$$D_1 = \frac{1}{4} E_{\alpha}';$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_1 = \frac{1}{2} (\beta E_{\alpha}''' + E_{\alpha}''),$$

$$D_1 = \frac{1}{4} (-\beta E_{\alpha}'' - E_{\alpha}').$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_2 E_\varphi + D_2 E_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{g m}{\beta k} [F + (A_2 E_\varphi' - 4 D_2 E_\varphi)],$$

$$M = -\frac{g d}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 E_\varphi'' - D_2 E_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{g d}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 E_\varphi''' - D_2 E_\varphi'' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi - \alpha, \quad F' = 1,$$

$$A_2 = -\frac{1}{2} C_\alpha'',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\alpha';$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \beta - \varphi + \alpha, \quad F' = -1,$$

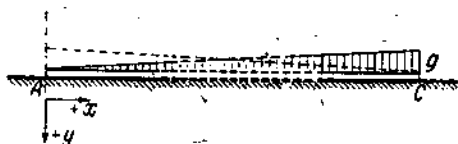
$$A_2 = \frac{1}{2} (\beta C_\alpha''' + C_\alpha''),$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (-\beta C_\alpha'' - C_\alpha').$$

СХЕМА 47.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, приложена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

при возрастающей слева направо нагрузке:

$$p = \frac{g \varphi}{2\lambda},$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{2\lambda k},$$

$$M = 0,$$

$$Q = 0;$$

при убывающей слева направо нагрузке:

$$p = g \left(1 - \frac{\varphi}{2\lambda} \right),$$

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{gm}{2\lambda k},$$

$$M = 0,$$

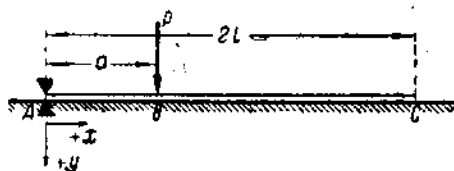
$$Q = 0.$$

§ 12. Балки с неподвижной опорой на одном конце.

СХЕМА 48.

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{Pm}{a} (B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^3}{ka} (B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P (-B_1 C_\varphi' - D_1 C_\varphi''),$$

где

$$B_1 = C_\alpha + \frac{1}{2} W''' C_\alpha' - \frac{1}{4} V''' C_\alpha''',$$

$$D_1 = -\frac{1}{4} V''' C_\alpha' - \frac{1}{4} C_\alpha'' + \frac{1}{8} U' C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{Pm}{a} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^3}{ka} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_2 = C_\alpha',$$

$$B_2 = \frac{1}{2} W''' C_\alpha' - \frac{1}{4} V''' C_\alpha''',$$

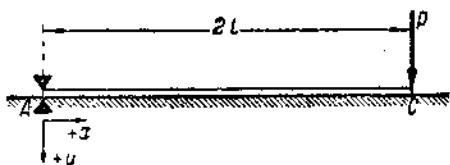
$$C_2 = -\frac{1}{4} C_\alpha''',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} V''' C_\alpha' + \frac{1}{8} U' C_\alpha''.$$

СХЕМА 49.

Сосредоточенная сила приложена на правом конце балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$P = \frac{Pm}{d} \cdot \frac{1}{N''} \left(2C'_{2\lambda} C'_{\varphi} + \frac{1}{2} C'''_{2\lambda} C'''_{\varphi} \right),$$

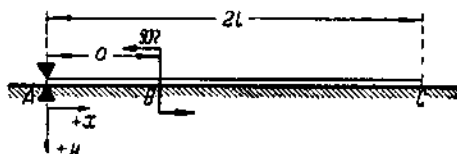
$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^2}{kd} \cdot \frac{1}{N''} (2C'_{2\lambda} C''_{\varphi} - 2C'''_{2\lambda} C_{\varphi}),$$

$$M = -\frac{P}{m} \cdot \frac{1}{N''} \left(\frac{1}{2} C'_{2\lambda} C'''_{\varphi} - \frac{1}{2} C'''_{2\lambda} C'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -P \cdot \frac{1}{N''} \left(-2C'_{2\lambda} C_{\varphi} - \frac{1}{2} C'''_{2\lambda} C''_{\varphi} \right).$$

Момент приложен в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^3}{d} (B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^3}{kd} (B_1 C_\varphi' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m (-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi''),$$

где

$$B_1 = -V' C_\alpha - \frac{1}{2} W'' C_\alpha' - C_\alpha,$$

$$D_1 = \frac{1}{4} V'' C_\alpha' + \frac{1}{2} U'' C_\alpha + \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^3}{d} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^3}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha',$$

$$B_2 = -V' C_\alpha - \frac{1}{2} W'' C_\alpha',$$

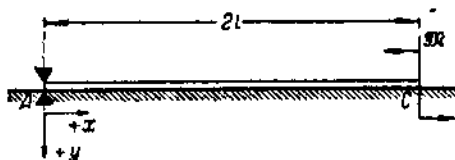
$$C_2 = -C_\alpha,$$

$$D_2 = \frac{1}{4} V'' C_\alpha' + \frac{1}{2} U'' C_\alpha.$$

СХЕМА 51.

Момент приложен на правом конце балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} \cdot \frac{1}{N''} (-2C_{2\lambda}''C_{\varphi}' + 2C_{2\lambda}C_{\varphi}'''),$$

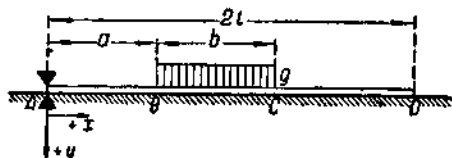
$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} \cdot \frac{1}{N''} (-2C_{2\lambda}''C_{\varphi}'' - 8C_{2\lambda}C_{\varphi}'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \cdot \frac{1}{N''} \left(-\frac{1}{2} C_{2\lambda}''C_{\varphi}''' - 2C_{2\lambda}C_{\varphi}'' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \cdot \frac{1}{N''} (2C_{2\lambda}''C_{\varphi} - 2C_{2\lambda}C_{\varphi}'').$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \gamma = -\frac{gm}{k}(B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} (-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi''),$$

где

$$B_1 = \frac{1}{2} W''r - \frac{1}{4} V''t - \frac{1}{4} q,$$

$$D_1 = -\frac{1}{4} V''r + \frac{1}{8} U''t - \frac{1}{4} s.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \gamma = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha,$$

$$B_2 = \frac{1}{2} W''r - \frac{1}{4} V''t - \frac{1}{4} C_{\alpha+\beta}''',$$

$$C_2 = \frac{1}{4} C_\alpha'',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} V''r + \frac{1}{8} U''t - \frac{1}{4} C_{\alpha+\beta}'.$$

Для участка балки CD :

$$p = g(A_3 C_\varphi + B_3 C'_\varphi + C_3 C''_\varphi + D_3 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{g m}{k}(A_3 C'_\varphi + B_3 C''_\varphi + C_3 C'''_\varphi - 4 D_3 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{g d}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_3 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_3 C'''_\varphi - C_3 C_\varphi - D_3 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{g d}{m} \left(\frac{1}{4} A_3 C'''_\varphi - B_3 C_\varphi - C_3 C'_\varphi - D_3 C''_\varphi \right),$$

где

$$A_3 = r,$$

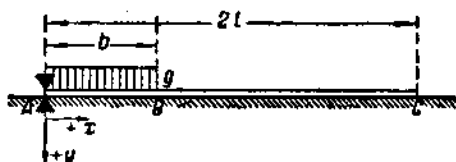
$$B_3 = \frac{1}{2} W'' r - \frac{1}{4} V'' t,$$

$$C_3 = -\frac{1}{4} t,$$

$$D_3 = -\frac{1}{4} V' r + \frac{1}{8} U'' t.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на левом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g[1 + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + D_1 C''_\varphi)],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi - 4D_1 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^3} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right),$$

где

$$A_1 = -1,$$

$$B_1 = -\frac{1}{2} W'' + \frac{1}{2} W'' C_\beta - \frac{1}{4} V' C''_\beta - \frac{1}{4} C'''_\beta,$$

$$D_1 = \frac{1}{4} V'' - \frac{1}{4} V'' C_\beta - \frac{1}{4} C'_\beta + \frac{1}{8} U' C''_\beta.$$

Для участка балки BC:

$$p = g(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^3} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

где

$$A_2 = C_\beta - 1,$$

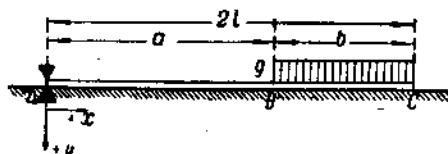
$$B_2 = -\frac{1}{2} W'' + \frac{1}{2} W'' C_\beta - \frac{1}{4} V'' C''_\beta,$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} C'''_\beta,$$

$$D_2 = \frac{1}{4} V'' - \frac{1}{4} V'' C_\beta + \frac{1}{8} U'' C''_\beta.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на правом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(B_1 C_\varphi' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}(-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi''),$$

где

$$B_1 = -\frac{1}{2}W''C_\alpha + \frac{1}{4}V''C_\alpha' + \frac{1}{4}C_\alpha''',$$

$$D_1 = \frac{1}{4}V'C_\alpha + \frac{1}{4}C_\alpha' - \frac{1}{8}U''C_\alpha'.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi''' + \frac{1}{4}B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'\right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha,$$

$$B_2 = -\frac{1}{2}W''C_\alpha + \frac{1}{4}V''C_\alpha',$$

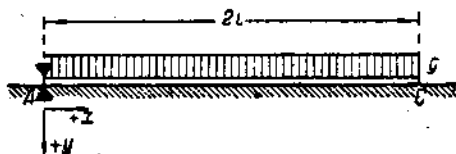
$$C_2 = \frac{1}{4}C_\alpha'',$$

$$D_2 = \frac{1}{4}V'C_\alpha - \frac{1}{8}U''C_\alpha'.$$

СХЕМА 55.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = g \left[1 + \left(-C_{\varphi} - \frac{1}{2} W'' C_{\varphi}' + \frac{1}{4} V'' C_{\varphi}''' \right) \right],$$

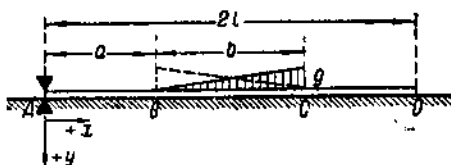
$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} \left(-C_{\varphi}' - \frac{1}{2} W'' C_{\varphi}'' - V' C_{\varphi}' \right),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(-\frac{1}{4} C_{\varphi}'' - \frac{1}{8} W'' C_{\varphi}''' - \frac{1}{4} V' C_{\varphi}' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(-\frac{1}{4} C_{\varphi}''' + \frac{1}{2} W'' C_{\varphi}' - \frac{1}{4} V' C_{\varphi}'' \right).$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} (B_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} (-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi'),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (2W'' C_{a+\beta} - V'' C_{a+\beta}' - C_{a+\beta}''') + V'' s + \frac{1}{2} W'' q + t \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{8} \left[\beta (-2V'' C_{a+\beta} + U'' C_{a+\beta}' - 2C_{a+\beta}') - U'' s - \frac{1}{2} V'' q + 2r \right],$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2W'' C_a + V'' C_a' + C_a''') - V'' s - \frac{1}{2} W'' q - t \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{8} \left[\beta (2V'' C_a - U'' C_a' + 2C_a') + U'' s + \frac{1}{2} V'' q - 2r \right].$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' - 4D_2 C_\varphi)],$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi'' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi - a, \quad F' = 1,$$

$$A_3 = -\frac{1}{4} C''',$$

$$B_3 = \frac{1}{4} \left[\beta (2W'' C_{\alpha+\beta} - V'' C''_{\alpha+\beta} - C'''_{\alpha+\beta}) + V'' s + \frac{1}{2} W'' q + C''_{\alpha+\beta} \right],$$

$$C_3 = -\frac{1}{4} C''_{\alpha},$$

$$D_3 = \frac{1}{8} \left[\beta (-2V'' C_{\alpha+\beta} + U'' C''_{\alpha+\beta} - 2C''_{\alpha+\beta}) - U'' s - \frac{1}{2} V'' q + 2C_{\alpha+\beta} \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \alpha + \beta - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_3 = \frac{1}{4} (-4\beta C_{\alpha} + C'''),$$

$$B_3 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2W'' C_{\alpha} + V'' C''_{\alpha}) - V'' s - \frac{1}{2} W'' q - C''_{\alpha+\beta} \right],$$

$$C_3 = \frac{1}{4} (\beta C''_{\alpha} + C_{\alpha}),$$

$$D_3 = \frac{1}{8} \left[\beta (2V'' C_{\alpha} - U'' C''_{\alpha}) + U'' s + \frac{1}{2} V'' q - 2C_{\alpha+\beta} \right].$$

Для участка балки CD:

$$p = \frac{g}{\beta} (A_3 C_{\varphi} + B_3 C'_{\varphi} + C_3 C''_{\varphi} + D_3 C'''_{\varphi}),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_3 C'_{\varphi} + B_3 C''_{\varphi} + C_3 C'''_{\varphi} - 4D_3 C_{\varphi}),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_3 C''_{\varphi} + \frac{1}{4} B_3 C'''_{\varphi} - C_3 C_{\varphi} - D_3 C'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_3 C'''_{\varphi} - B_3 C_{\varphi} - C_3 C'_{\varphi} - D_3 C''_{\varphi} \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_3 = \frac{1}{4} (4\beta C_{\alpha+\beta} + q),$$

$$B_3 = \frac{1}{4} \left[\beta (2W'' C_{\alpha+\beta} - V'' C''_{\alpha+\beta}) + V'' s + \frac{1}{2} W'' q \right],$$

$$C_3 = \frac{1}{4} (-\beta C''_{\alpha+\beta} + s),$$

$$D_3 = \frac{1}{8} \left[\beta (-2V'' C_{\alpha+\beta} + U'' C''_{\alpha+\beta}) - U'' s - \frac{1}{2} V'' q \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_3 = \frac{1}{4} (-4\beta C_{\alpha} - q),$$

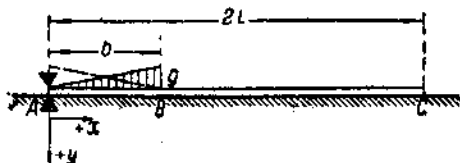
$$B_3 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2W'' C_{\alpha} + V'' C''_{\alpha}) - V'' s - \frac{1}{2} W'' q \right],$$

$$C_3 = \frac{1}{4} (\beta C''_{\alpha} - s),$$

$$D_3 = \frac{1}{8} \left[\beta (2V'' C_{\alpha} - U'' C''_{\alpha}) + U'' s + \frac{1}{2} V'' q \right].$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на левом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{q}{\beta} [F + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + D_1 C''_\varphi)],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi - 4D_1 C_\varphi)],$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - D_1 C''_\varphi \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1,$$

$$A_1 = 0,$$

$$B_1 = \frac{1}{4} [\beta (2W'' C_\beta - V'' C'_\beta - C''_\beta) + V'' C_\beta + C'_\beta + \frac{1}{2} W'' C''_\beta],$$

$$D_1 = \frac{1}{8} [\beta (-2V'' C_\beta - 2C'_\beta + U'' C'_\beta) + 2C_\beta - U'' C'_\beta - \frac{1}{2} V'' C''_\beta];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \beta - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_1 = -\beta,$$

$$B_1 = \frac{1}{4} \left(-2\beta W'' - V'' C'_\beta - C''_\beta - \frac{1}{2} W'' C''_\beta \right),$$

$$D_1 = \frac{1}{8} \left(2\beta V'' - 2C'_\beta + U'' C'_\beta + \frac{1}{2} V'' C''_\beta \right).$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{q}{\beta} (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_1 = \frac{1}{4} (4\beta C_\beta + C_\beta'''),$$

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (2W'' C_\beta - V'' C_\beta'') + V'' C_\beta' + \frac{1}{2} W'' C_\beta''' \right],$$

$$C_1 = \frac{1}{4} (-\beta C_\beta'' + C_\beta'),$$

$$D_1 = \frac{1}{8} \left[\beta (-2V'' C_\beta + U'' C_\beta'') - U'' C_\beta' - \frac{1}{2} V'' C_\beta''' \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{4} (-4\beta - C_\beta'''),$$

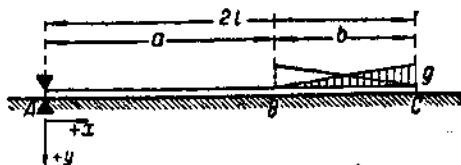
$$B_2 = \frac{1}{4} \left(-2\beta W'' - V'' C_\beta' - \frac{1}{2} W'' C_\beta''' \right),$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} C_\beta',$$

$$D_2 = \frac{1}{8} \left(2\beta V'' + U'' C_\beta' + \frac{1}{2} V'' C_\beta''' \right).$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на правом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} (B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} (-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi''),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} \left(-V'' C_\alpha' - C_\alpha'' - \frac{1}{2} W'' C_\alpha''' \right),$$

$$D_1 = \frac{1}{8} \left(-2C_\alpha + U'' C_\alpha' + \frac{1}{2} V'' C_\alpha''' \right);$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2W'' C_\alpha + V'' C_\alpha' + C_\alpha''') + V'' C_\alpha + C_\alpha'' + \frac{1}{2} W'' C_\alpha''' \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{8} \left[\beta (2V'' C_\alpha + 2C_\alpha' - U'' C_\alpha'') + 2C_\alpha - U'' C_\alpha' - \frac{1}{2} V'' C_\alpha''' \right].$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi')],$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' + \frac{1}{4} B_2 C_\alpha'' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi - \alpha, \quad F' = 1,$$

$$A_2 = -\frac{1}{4} C''_a,$$

$$B_2 = \frac{1}{4} \left(-V'' C_a - \frac{1}{2} W'' C''_a \right),$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} C_a,$$

$$D_2 = \frac{1}{8} \left(U'' C_a + \frac{1}{2} V'' C''_a \right);$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = 2\lambda - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_2 = \frac{1}{4} (-4\beta C_a + C''_a),$$

$$B_2 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2W'' C_a + V'' C''_a) + V'' C_a + \frac{1}{2} W'' C''_a \right],$$

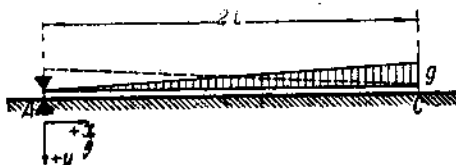
$$C_2 = \frac{1}{4} (\beta C''_a + C_a),$$

$$D_2 = \frac{1}{8} \left[\beta (2V'' C_a - U'' C''_a) - U'' C_a - \frac{1}{2} V'' C''_a \right].$$

СХЕМА 59.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

при возрастающей слева направо нагрузке:

$$p = \frac{g\varphi}{2\lambda},$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{2\lambda k},$$

$$M = 0,$$

$$Q = 0;$$

при убывающей слева направо нагрузке:

$$p = \frac{g}{2\lambda} [F + (AC_{\varphi} + BC'_{\varphi} + DC''_{\varphi})],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{2\lambda k} [F' + (AC'_{\varphi} + BC''_{\varphi} - 4DC_{\varphi})],$$

$$M = -\frac{gd}{2\lambda m^2} \left(\frac{1}{4} AC''_{\varphi} + \frac{1}{4} BC'''_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{2\lambda m} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - BC_{\varphi} - DC''_{\varphi} \right),$$

где

$$F = 2\lambda - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A = -2\lambda,$$

$$B = -\lambda W'',$$

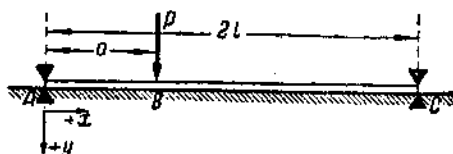
$$D = \frac{1}{2} \lambda V''.$$

§ 13. Балки с неподвижными опорами на обоих концах.

СХЕМА 60.

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{Pm}{d} (B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^3}{kd} (B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P (-B_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi''),$$

где

$$B_1 = C_\alpha - \frac{1}{2} U''' C_\alpha' + \frac{1}{4} W''' C_\alpha''',$$

$$D_1 = \frac{1}{4} W''' C_\alpha' - \frac{1}{4} C_\alpha'' + \frac{1}{8} U''' C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{Pm}{d} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^3}{kd} (A_2 C_\varphi'' + B_2 C_\varphi''' + C_2 C_\varphi'''' - 4D_2 C_\varphi''),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi'''' - C_2 C_\varphi'' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'''' - B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi'' - D_2 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_2 = C_\alpha',$$

$$B_2 = -\frac{1}{2} U''' C_\alpha' + \frac{1}{4} W''' C_\alpha''',$$

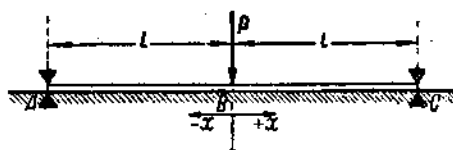
$$C_2 = -\frac{1}{4} C_\alpha'',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} W''' C_\alpha' + \frac{1}{8} U''' C_\alpha''.$$

СХЕМА 61.

Сосредоточенная сила приложена в середине балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки *BA*:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка *BC*,

$\text{tg } \gamma$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки *BC*:

$$p = \frac{Pm}{d} \left(\frac{1}{2} u'' C_{\varphi} - \frac{1}{2} C'_{\varphi} + \frac{1}{4} w'' C''_{\varphi} \right),$$

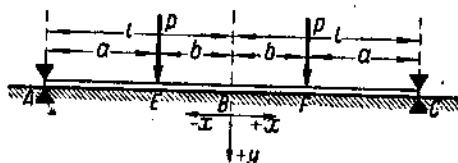
$$\text{tg } \gamma = - \frac{Pm^3}{kd} \left(\frac{1}{2} u'' C'_{\varphi} - \frac{1}{2} C''_{\varphi} + \frac{1}{4} w'' C'''_{\varphi} \right),$$

$$M = - \frac{P}{m} \left(\frac{1}{8} u'' C''_{\varphi} - \frac{1}{8} C'''_{\varphi} - \frac{1}{4} w'' C'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{8} u'' C'''_{\varphi} + \frac{1}{2} C_{\varphi} - \frac{1}{4} w'' C'_{\varphi} \right).$$

Две равные сосредоточенные силы приложены в любых сечениях симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF:

$$p = \frac{Pm}{d} (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Pm^3}{kd} (A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_1 = u'' C_\beta - C_\beta' + \frac{1}{2} w'' C_\beta'',$$

$$C_1 = \frac{1}{2} w'' C_\beta - \frac{1}{4} u'' C_\beta'' + \frac{1}{4} C_\beta''.$$

Для участка балки FC:

$$p = \frac{Pm}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Pm^3}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi'' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_2 = u'' C_\beta + \frac{1}{2} w'' C_\beta'',$$

$$B_2 = -C_\beta,$$

$$C_2 = \frac{1}{2} w'' C_\beta - \frac{1}{4} u'' C_\beta'',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\beta'.$$

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

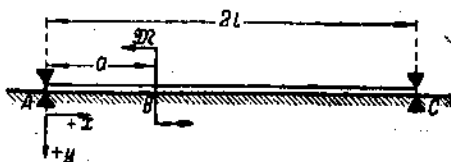
$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Момент приложен в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{\mathfrak{M} m^2}{d} (B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M} m^2}{kd} (B_1 C_\varphi' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M} m (-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi''),$$

где

$$B_1 = W''' C_\alpha - C_\alpha' + \frac{1}{2} U''' C_\alpha'',$$

$$D_1 = \frac{1}{2} U''' C_\alpha - \frac{1}{4} W''' C_\alpha' + \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{\mathfrak{M} m^2}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M} m^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M} m \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha'',$$

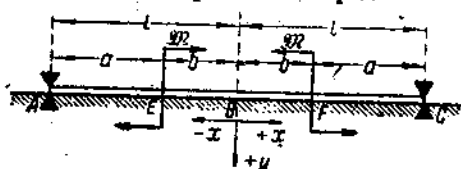
$$B_2 = W''' C_\alpha + \frac{1}{2} U''' C_\alpha',$$

$$C_2 = -C_\alpha,$$

$$D_2 = \frac{1}{2} U''' C_\alpha - \frac{1}{4} W''' C_\alpha'.$$

Два равных момента, направленные в разные стороны, приложены в любых сечениях симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF:

$$p = \frac{Mm^2}{d} (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Mm^2}{kd} (A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -M \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -M m \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_1 = u'' C_\beta - C_\beta' + \frac{1}{2} w'' C_\beta''',$$

$$C_1 = -C_\beta + \frac{1}{2} w'' C_\beta' - \frac{1}{4} u'' C_\beta''.$$

Для участка балки FE:

$$p = \frac{Mm^2}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Mm^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -M \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -M m \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_2 = u'' C_\beta + \frac{1}{2} w'' C_\beta''',$$

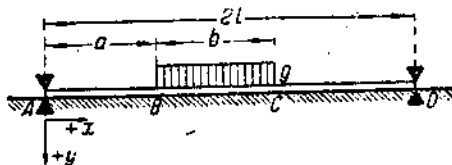
$$B_2 = -C_\beta,$$

$$C_2 = \frac{1}{2} w'' C_\beta' - \frac{1}{4} u'' C_\beta'',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\beta''.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}(-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi''),$$

где

$$B_1 = -\frac{1}{2}U'''r + \frac{1}{4}W'''t - \frac{1}{4}q,$$

$$D_1 = \frac{1}{4}W'''r + \frac{1}{8}U'''t - \frac{1}{4}s.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi''' + \frac{1}{4}B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'\right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha,$$

$$B_2 = -\frac{1}{2}U'''r + \frac{1}{4}W'''t - \frac{1}{4}C_{\alpha+\beta},$$

$$C_2 = \frac{1}{4}C_\alpha',$$

$$D_2 = \frac{1}{4}W'''r + \frac{1}{8}U'''t - \frac{1}{4}C_{\alpha+\beta}.$$

Для участка балки CD :

$$p = g(A_3 C_\varphi + B_3 C_\varphi' + C_3 C_\varphi'' + D_3 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_3 C_\varphi' + B_3 C_\varphi'' + C_3 C_\varphi''' - 4D_3 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^3}\left(\frac{1}{4}A_3 C_\varphi'' + \frac{1}{4}B_3 C_\varphi''' - C_3 C_\varphi - D_3 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_3 C_\varphi''' - B_3 C_\varphi - C_3 C_\varphi' - D_3 C_\varphi''\right),$$

где

$$A_3 = r,$$

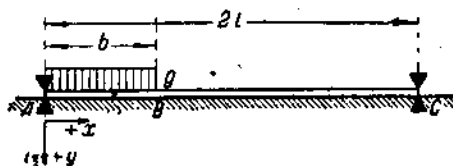
$$B_3 = -\frac{1}{2}U'''r + \frac{1}{4}W'''t,$$

$$C_3 = -\frac{1}{4}t,$$

$$D_3 = \frac{1}{4}W'''r + \frac{1}{8}U'''t.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на левом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g[1 + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + D_1 C'''_\varphi)],$$

$$\operatorname{tg} v = -\frac{gm}{k}(A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi - 4D_1 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4}B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi\right),$$

где

$$A_1 = -1,$$

$$B_1 = \frac{1}{2}U''' - \frac{1}{2}U'''C_\beta + \frac{1}{4}W'''C'_\beta - \frac{1}{4}C'''_\beta,$$

$$D_1 = -\frac{1}{4}W''' + \frac{1}{4}W'''C_\beta + \frac{1}{8}U'''C'_\beta - \frac{1}{4}C'_\beta.$$

Для участка балки BC:

$$p = g(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} v = -\frac{gm}{k}\left(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi\right),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4}B_2 C'''_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C'_\varphi\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C'_\varphi\right),$$

где

$$A_2 = C_\beta - 1,$$

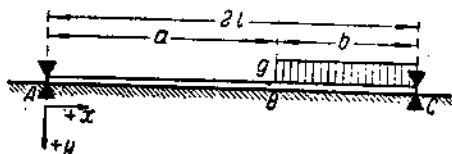
$$B_2 = \frac{1}{2}U''' - \frac{1}{2}U'''C_\beta + \frac{1}{4}W'''C'_\beta,$$

$$C_2 = -\frac{1}{4}C'''_\beta,$$

$$D_2 = -\frac{1}{4}W''' + \frac{1}{4}W'''C_\beta + \frac{1}{8}U'''C'_\beta.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на правом конце-вом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}(-B_1 C_\varphi' - D_1 C_\varphi''),$$

где

$$B_1 = -\frac{C_{2\lambda}'}{N'''} + \frac{1}{2}U'''C_\alpha - \frac{1}{4}W'''C_\alpha' + \frac{1}{4}C_\alpha''',$$

$$D_1 = -\frac{1}{4}\frac{C_{2\lambda}'''}{N'''} - \frac{1}{4}W'''C_\alpha - \frac{1}{8}U'''C_\alpha' + \frac{1}{4}C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4}B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi''\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi'' - D_2 C_\varphi'''\right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha,$$

$$B_2 = -\frac{C_{2\lambda}'}{N'''} + \frac{1}{2}U'''C_\alpha - \frac{1}{4}W'''C_\alpha',$$

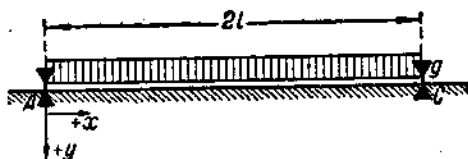
$$C_2 = \frac{1}{4}C_\alpha',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4}\frac{C_{2\lambda}'''}{N'''} - \frac{1}{4}W'''C_\alpha - \frac{1}{8}U'''C_\alpha''.$$

СХЕМА 68.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = g[1 + (AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}' + DC_{\varphi}''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}'' - 4DC_{\varphi}'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}AC_{\varphi}'' + \frac{1}{4}BC_{\varphi}''' - DC_{\varphi}'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}AC_{\varphi}''' - BC_{\varphi}'' - DC_{\varphi}''\right),$$

где

$$A = -1,$$

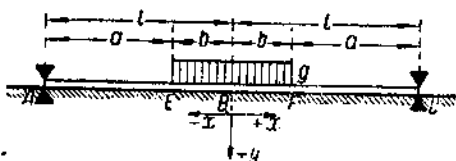
$$B = \frac{1}{2}U''' - \frac{C_{2\lambda}}{N'''},$$

$$D = -\frac{1}{4}W''' - \frac{1}{4}\frac{C_{2\lambda}'''}{N'''}.$$

СХЕМА 69.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на среднем участке симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF :

$$p = g[1 + (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi'')],$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} (A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi''' \right),$$

где

$$A_1 = -C_\beta + \frac{1}{2} w'' C_\beta - \frac{1}{4} u'' C_\beta''',$$

$$C_1 = -\frac{1}{4} u'' C_\beta + \frac{1}{4} C_\beta' - \frac{1}{8} w'' C_\beta''.$$

Для участка балки EA :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

Для участка балки FC :

$$p = g(A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi'' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = \frac{1}{2} w'' C_\beta' - \frac{1}{4} u'' C_\beta''',$$

$$B_2 = \frac{1}{4} C_\beta''',$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} u'' C_\beta' - \frac{1}{8} w'' C_\beta''',$$

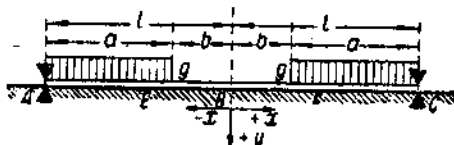
$$D_2 = \frac{1}{4} C'.$$



СХЕМА 70.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на концевых участках симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF:

$$p = g(A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k}(A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_1 = -2 \frac{C_\lambda}{n''} + C_\beta - \frac{1}{2} w'' C_\beta + \frac{1}{4} u'' C_\beta''',$$

$$C_1 = -\frac{1}{2} \frac{C_\lambda''}{n''} + \frac{1}{4} u'' C_\beta' - \frac{1}{4} C_\beta'' + \frac{1}{8} w'' C_\beta'''.$$

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

Для участка балки FC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -2 \frac{C_\lambda}{n''} - \frac{1}{2} w'' C_\beta + \frac{1}{4} u'' C_\beta''',$$

$$B_2 = -\frac{1}{4} C_\beta''',$$

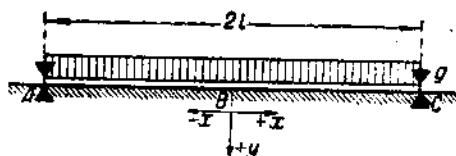
$$C_2 = -\frac{1}{2} \frac{C_\lambda'}{n''} + \frac{1}{4} u'' C_\beta + \frac{1}{8} w'' C_\beta''',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} C_\beta'.$$

СХЕМА 71.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем протяжении балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC:

$$p = g \left[1 + \left(-2 \frac{C_\lambda}{n''} C_\varphi - \frac{1}{2} \frac{C_\lambda'}{n''} C_\varphi'' \right) \right],$$

$$\text{tg } \nu = - \frac{gm}{k} \left(-2 \frac{C_\lambda}{n''} C_\varphi' - \frac{1}{2} \frac{C_\lambda'}{n''} C_\varphi''' \right),$$

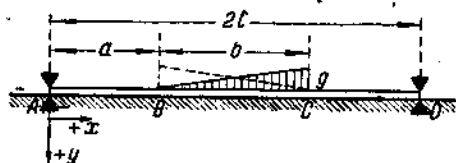
$$M = - \frac{gd}{m^2} \left(- \frac{1}{2} \frac{C_\lambda}{n''} C_\varphi' + \frac{1}{2} \frac{C_\lambda'}{n''} C_\varphi \right),$$

$$Q = - \frac{gd}{m} \left(- \frac{1}{2} \frac{C_\lambda}{n''} C_\varphi''' + \frac{1}{2} \frac{C_\lambda'}{n''} C_\varphi'' \right).$$

СХЕМА 72.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned} p &= \frac{g}{\beta} (B_1 C'_\varphi + D_1 C''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} (B_1 C''_\varphi - 4 D_1 C_\varphi), \\ M &= -\frac{gd}{\beta m^3} \left(\frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{gd}{\beta m} (-B_1 C_\varphi - D_1 C''_\varphi), \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{1}{4} \left[\beta \left(-2 U''' C_{\alpha+\beta} + W''' C''_{\alpha+\beta} - C'''_{\alpha+\beta} \right) - W''' s + \right. \\ &\quad \left. + t - \frac{1}{2} U''' q \right], \\ D_1 &= \frac{1}{8} \left[\beta \left(2 W''' C_{\alpha+\beta} - 2 C'_{\alpha+\beta} + U''' C''_{\alpha+\beta} \right) + \right. \\ &\quad \left. + 2 r - U''' s + \frac{1}{2} W''' q \right]; \end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{1}{4} \left[\beta \left(2 U''' C_\alpha - W''' C''_\alpha + C'''_\alpha \right) + W''' s - t + \frac{1}{2} U''' q \right], \\ D_1 &= \frac{1}{8} \left[\beta \left(-2 W''' C_\alpha + 2 C'_\alpha - U''' C''_\alpha \right) - 2 r + U''' s - \frac{1}{2} W''' q \right] \end{aligned}$$

Для участка балки BC:

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{g}{\beta} \left[F + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi + D_1 C'''_\varphi) \right], \\
 \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} \left[F + (A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi - 4 D_1 C_\varphi) \right], \\
 M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\
 Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi - D_1 C''_\varphi \right),
 \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned}
 F &= \varphi - \alpha, \quad F' = 1, \\
 A_1 &= -\frac{1}{4} C''_{\alpha}, \\
 B_1 &= \frac{1}{4} \left[\beta \left(-2 U''' C_{\alpha+\beta} + W''' C'_{\alpha+\beta} - C''_{\alpha+\beta} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - W''' s - \frac{1}{2} U''' q + C''_{\alpha+\beta} \right], \\
 C_1 &= -\frac{1}{4} C'_\alpha, \\
 D_1 &= \frac{1}{8} \left[\beta \left(2 W''' C_{\alpha+\beta} - 2 C'_{\alpha+\beta} + U''' C''_{\alpha+\beta} \right) - \right. \\
 &\quad \left. - U''' s + \frac{1}{2} W''' q + 2 C_{\alpha+\beta} \right];
 \end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned}
 F &= \alpha + \beta - \varphi, \quad F' = -1, \\
 A_1 &= \frac{1}{4} (-4 \beta C_\alpha + C''_{\alpha}), \\
 B_1 &= \frac{1}{4} \left[\beta (2 U''' C_\alpha - W''' C''_{\alpha}) + W''' s + \frac{1}{2} U''' q - C''_{\alpha+\beta} \right], \\
 C_1 &= \frac{1}{4} (\beta C'_\alpha + C'_\alpha), \\
 D_1 &= \frac{1}{8} \left[\beta (-2 W''' C_\alpha - U''' C''_{\alpha}) + U''' s - \frac{1}{2} W''' q - 2 C_{\alpha+\beta} \right].
 \end{aligned}$$

Для участка балки CD:

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{g}{\beta} (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\
 \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4 D_2 C_\varphi), \\
 M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\
 Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),
 \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_3 = \frac{1}{4} (4\beta C_{\alpha+\beta} + q),$$

$$B_3 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2U''' C_{\alpha+\beta} + W''' C''_{\alpha+\beta}) - W''' s - \frac{1}{2} U''' q \right],$$

$$C_3 = \frac{1}{4} (-\beta C''_{\alpha+\beta} + s),$$

$$D_3 = \frac{1}{8} \left[\beta (2W''' C_{\alpha+\beta} + U''' C''_{\alpha+\beta}) - U''' s + \frac{1}{2} W''' q \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_3 = \frac{1}{4} (-4\beta C_\alpha - q),$$

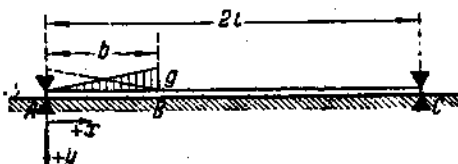
$$B_3 = \frac{1}{4} \left[\beta (2U''' C_\alpha - W''' C''_\alpha) + W''' s + \frac{1}{2} U''' q \right],$$

$$C_3 = \frac{1}{4} (\beta C''_\alpha - s),$$

$$D_3 = \frac{1}{8} \left[\beta (-2W''' C_\alpha - U''' C''_\alpha) + U''' s - \frac{1}{2} W''' q \right].$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на левом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned} p &= \frac{g}{\beta} [F + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + D_1 C''_\varphi)], \\ \text{tg } \nu &= -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi - 4D_1 C_\varphi)], \\ M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi, F' = 1,$$

$$A_1 = 0,$$

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2U''' C_\beta + W''' C'_\beta - C''_\beta) - W''' C_\beta + C'_\beta - \frac{1}{2} U''' C''_\beta \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{8} \left[\beta (2W''' C_\beta - 2C_\beta + U''' C'_\beta) + 2C_\beta - U'' C'_\beta + \frac{1}{2} W''' C''_\beta \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \beta - \varphi, F' = -1,$$

$$A_1 = -\beta,$$

$$B_1 = \frac{1}{4} \left(2\beta U''' + W''' C_\beta - C'_\beta + \frac{1}{2} U''' C''_\beta \right),$$

$$D_1 = \frac{1}{8} \left(-2\beta W''' - 2C_\beta + U''' C'_\beta - \frac{1}{2} W''' C''_\beta \right).$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi - D_2 C'''_\varphi),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{4} (4\beta C_\beta + C_\beta'''),$$

$$B_2 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2U''' C_\beta + W''' C_\beta'') - W''' C_\beta' - \frac{1}{2} U''' C_\beta''' \right],$$

$$C_2 = \frac{1}{4} (-\beta C_\beta'' + C_\beta'),$$

$$D_2 = \frac{1}{8} \left[\beta (2W''' C_\beta + U''' C_\beta'') - U''' C_\beta' + \frac{1}{2} W''' C_\beta''' \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{4} (-4\beta - C_\beta'''),$$

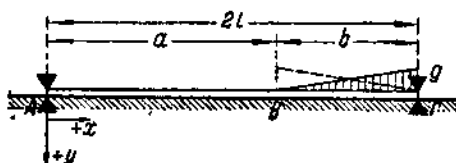
$$B_2 = \frac{1}{4} (2\beta U''' + W''' C_\beta' + \frac{1}{2} U''' C_\beta'''),$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} C_\beta',$$

$$D_2 = \frac{1}{8} (-2\beta W''' + U''' C_\beta' - \frac{1}{2} W''' C_\beta''').$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на правом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = -\frac{g}{\beta} (B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} (-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi'),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} \left(-4\beta \frac{C_{2\lambda}}{N'''} + W''' C_\alpha - C_\alpha'' + \frac{1}{2} U''' C_\alpha'' \right),$$

$$D_1 = \frac{1}{8} \left(-2\beta \frac{C_{2\lambda}'''}{N'''} - 2C_\alpha + U''' C_\alpha' - \frac{1}{2} W''' C_\alpha'' \right);$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (2U''' C_\alpha - W''' C_\alpha'' + C_\alpha''') - W''' C_\alpha' + C_\alpha'' - \frac{1}{2} U''' C_\alpha''' \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{8} \left[\beta (-2W''' C_\alpha + 2C_\alpha' - U''' C_\alpha') + 2C_\alpha - U''' C_\alpha' + \frac{1}{2} W''' C_\alpha'' \right].$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} [F' + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' - 4D_2 C_\varphi')],$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned}
 F &= \varphi - \alpha, \quad F' = 1, \\
 A_2 &= -\frac{1}{4} C_a''', \\
 B_2 &= \frac{1}{4} \left(-4\beta \frac{C_{2\lambda}}{N'''} + W''' C_a' + \frac{1}{2} U''' C_a''' \right), \\
 C_2 &= -\frac{1}{4} C_a', \\
 D_2 &= \frac{1}{8} \left(-2\beta \frac{C_{2\lambda}}{N'''} + U''' C_a' - \frac{1}{2} W''' C_a''' \right);
 \end{aligned}$$

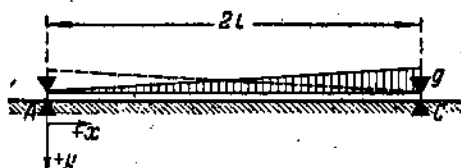
для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned}
 F &= 2\lambda - \varphi, \quad F' = -1, \\
 A_2 &= \frac{1}{4} (-4\beta C_a' + C_a'''), \\
 B_2 &= \frac{1}{4} \left[\beta (2U''' C_a' - W''' C_a'') - W''' C_a' - \frac{1}{2} U''' C_a''' \right], \\
 C_2 &= \frac{1}{4} (\beta C_a'' + C_a'), \\
 D_2 &= \frac{1}{8} \left[\beta (-2W''' C_a' - U''' C_a'') - U''' C_a' + \frac{1}{2} W''' C_a''' \right].
 \end{aligned}$$

СХЕМА 75.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{g}{2\lambda} [F + (AC_{\varphi} + BC'_{\varphi} + DC''_{\varphi})], \\
 \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{2\lambda k} [F' + (AC'_{\varphi} + BC''_{\varphi} - 4DC'_{\varphi})], \\
 M &= -\frac{gd}{2\lambda m^3} \left(\frac{1}{4} AC''_{\varphi} + \frac{1}{4} BC'''_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right), \\
 Q &= -\frac{gd}{2\lambda m} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - BC_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right),
 \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned}
 F &= \varphi, \quad F' = 1, \\
 A &= 0, \\
 B &= -2 \frac{\lambda C_{\varphi}}{N'''}, \\
 D &= -\frac{1}{2} \frac{\lambda C''_{\varphi}}{N'''};
 \end{aligned}$$

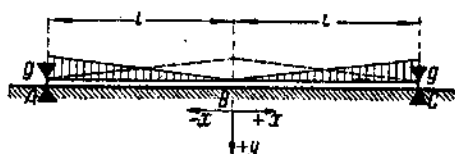
для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned}
 F &= 2\lambda - \varphi, \quad F' = -1, \\
 A &= -2\lambda, \\
 B &= \lambda U'', \\
 D &= -\frac{1}{2} \lambda W'''.
 \end{aligned}$$

СХЕМА 76.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на левой и правой половинах симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\lambda} [F + (AC_{\varphi} + CC'_{\varphi} + DC'''_{\varphi})],$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{\lambda k} [F' + (AC'_{\varphi} + CC'''_{\varphi} - 4DC_{\varphi})],$$

$$M = -\frac{gd}{\lambda m^2} \left(\frac{1}{4} AC''_{\varphi} - CC_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\lambda m} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - CC'_{\varphi} - DC''_{\varphi} \right),$$

где для возрастающей от середины к концам нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1,$$

$$A = -2 \frac{\lambda C_{\lambda}}{n''} + \frac{1}{2} w'',$$

$$C = -\frac{1}{2} \frac{\lambda C'_{\lambda}}{n''} - \frac{1}{4} u'',$$

$$D = \frac{1}{4};$$

для убывающей от середины к концам нагрузки:

$$F = \lambda - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A = -\frac{1}{2} w'',$$

$$C = \frac{1}{4} u'',$$

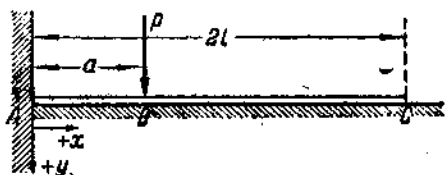
$$D = -\frac{1}{4}.$$

§ 14. Балки, защемленные на одном конце.

СХЕМА 77.

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{Pm}{d} (B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^2}{kd} (B_1 C_\varphi'' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -P(-B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi'),$$

где

$$B_1 = C_\alpha - W' C_\alpha' + \frac{1}{2} V' C_\alpha'',$$

$$C_1 = \frac{1}{2} V' C_\alpha' - \frac{1}{2} U' C_\alpha'' + \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{Pm}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = C_\alpha,$$

$$B_2 = -W' C_\alpha' + \frac{1}{2} V' C_\alpha'',$$

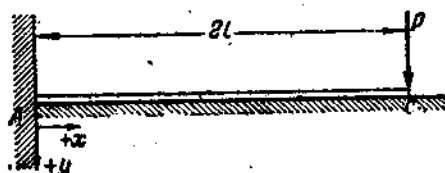
$$C_2 = \frac{1}{2} V' C_\alpha' - \frac{1}{2} U' C_\alpha'',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

СХЕМА 78.

Сосредоточенная сила приложена на правом конце балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$P = \frac{Pm}{d} \frac{1}{N'} (4C_{2\lambda} C_{\varphi}' + C_{2\lambda}''' C_{\varphi}'),$$

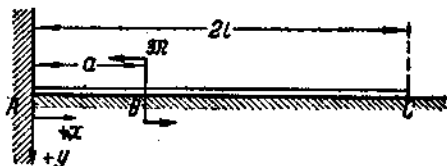
$$\operatorname{tg} \nu = - \frac{Pm^2}{kd} \frac{1}{N'} (4C_{2\lambda} C_{\varphi}'' + C_{2\lambda}''' C_{\varphi}'''),$$

$$M = - \frac{P}{m} \frac{1}{N'} (C_{2\lambda} C_{\varphi}''' - C_{2\lambda}''' C_{\varphi}'),$$

$$Q = - P \frac{1}{N'} (-4C_{2\lambda} C_{\varphi} - C_{2\lambda}''' C_{\varphi}').$$

Момент приложен в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце



Для участка балки AB:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} (B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m (-B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi'),$$

где

$$B_1 = -C_\alpha + W' C_\alpha'' - \frac{1}{2} V' C_\alpha''',$$

$$C_1 = C_\alpha - \frac{1}{2} V' C_\alpha'' + \frac{1}{2} U' C_\alpha''',$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha',$$

$$B_2 = W' C_\alpha'' - \frac{1}{2} V' C_\alpha''',$$

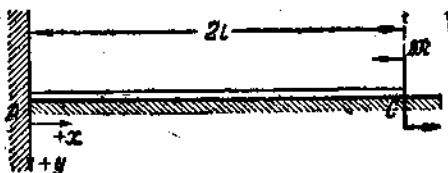
$$C_2 = -\frac{1}{2} V' C_\alpha'' + \frac{1}{2} U' C_\alpha''',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} C_\alpha''.$$

СХЕМА 56.

Момент приложен на правом конце балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = \frac{\mathfrak{M} m^3}{d} \frac{1}{N'} (-4C'_{2\lambda} C'_{\varphi} + 4C_{2\lambda} C''_{\varphi}),$$

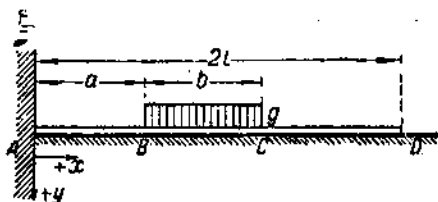
$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M} m^3}{kd} \frac{1}{N'} (-4C'_{2\lambda} C''_{\varphi} + 4C_{2\lambda} C'''_{\varphi}),$$

$$M = -\mathfrak{M} \frac{1}{N'} (-C'_{2\lambda} C'''_{\varphi} - 4C_{2\lambda} C_{\varphi}),$$

$$Q = -\mathfrak{M} m \frac{1}{N'} (4C'_{2\lambda} C_{\varphi} - 4C_{2\lambda} C'_{\varphi}).$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(B_1 C_\varphi'' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} (-B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi'),$$

где

$$B_1 = -W'r + \frac{1}{2} V's - \frac{1}{4} q,$$

$$C_1 = \frac{1}{2} V'r - \frac{1}{2} U's + \frac{1}{4} t.$$

Для участка балки BC:

$$p = g \left[1 + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''') \right],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha,$$

$$B_2 = -W'r + \frac{1}{2} V's - \frac{1}{4} C_{\alpha+\beta}''',$$

$$C_2 = \frac{1}{2} V'r - \frac{1}{2} U's + \frac{1}{4} C_{\alpha+\beta}',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} C_\alpha.$$

Для участка балки CD :

$$p = g(A_3 C_\varphi + B_3 C'_\varphi + C_3 C''_\varphi + D_3 C'''_\varphi),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k}(A_3 C'_\varphi + B_3 C''_\varphi + C_3 C'''_\varphi - 4D_3 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_3 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_3 C'''_\varphi - C_3 C_\varphi - D_3 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_3 C'''_\varphi - B_3 C_\varphi - C_3 C'_\varphi - D_3 C''_\varphi \right),$$

где

$$A_3 = r,$$

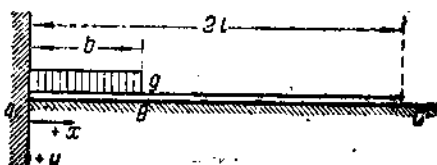
$$B_3 = -W'r + \frac{1}{2} V's,$$

$$C_3 = \frac{1}{2} V'r - \frac{1}{2} U's,$$

$$D_3 = \frac{1}{4} s.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на левом конце-вом участке балки.

Начало координат на левом конце



Для участка балки AB:

$$p = g[1 + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi)],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi \right),$$

где

$$A_1 = -1,$$

$$B_1 = W' - W' C_\beta + \frac{1}{2} V' C'_\beta - \frac{1}{4} C''_\beta,$$

$$C_1 = -\frac{1}{2} V' + \frac{1}{2} V' C_\beta - \frac{1}{2} U' C'_\beta + \frac{1}{4} C''_\beta.$$

Для участка балки BC:

$$p = g(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),$$

где

$$A_2 = -1 + C_\beta,$$

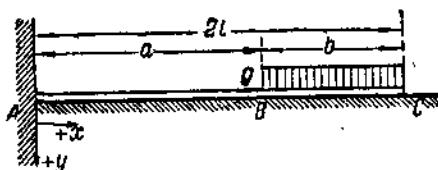
$$B_2 = W' - W' C_\beta + \frac{1}{2} V' C'_\beta,$$

$$C_2 = -\frac{1}{2} V' + \frac{1}{2} V' C_\beta - \frac{1}{2} U' C'_\beta,$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C''_\beta.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на правом концевом участке балки.

Начало координат — на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(B_1 C_\varphi'' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} (-B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi'),$$

где

$$B_1 = W' C_\alpha - \frac{1}{2} V' C_\alpha + \frac{1}{4} C_\alpha''',$$

$$C_1 = -\frac{1}{2} V' C_\alpha + \frac{1}{2} U' C_\alpha - \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha,$$

$$B_2 = W' C_\alpha - \frac{1}{2} V' C_\alpha,$$

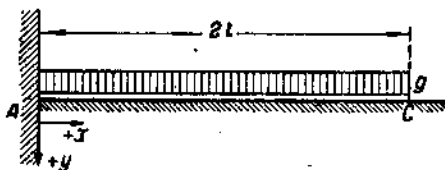
$$C_2 = -\frac{1}{2} V' C_\alpha + \frac{1}{2} U' C_\alpha,$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} C_\alpha.$$

СХЕМА 84.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



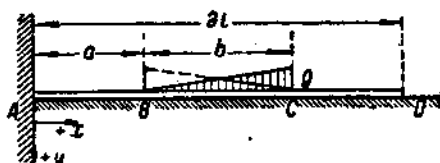
Для всей балки AC:

$$\begin{aligned}
 p &= g \left[1 + (-C_{\varphi} + W'C_{\varphi} - \frac{1}{2} V'C_{\varphi}'') \right], \\
 \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{k} \left(-C_{\varphi} + W'C_{\varphi}' - \frac{1}{2} V'C_{\varphi}'' \right), \\
 M &= -\frac{gd}{m^2} \left(-\frac{1}{4} C_{\varphi}'' + \frac{1}{4} W'C_{\varphi}''' + \frac{1}{2} V'C_{\varphi}'' \right), \\
 Q &= -\frac{gd}{m} \left(-\frac{1}{4} C_{\varphi}''' - W'C_{\varphi}'' + \frac{1}{2} V'C_{\varphi}' \right).
 \end{aligned}$$

СХЕМА 85.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} (B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta h} (B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} (-B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} [\beta (-4W'C_{a+\beta} + 2V'C'_{a+\beta} - C'''_{a+\beta}) - 2V'r + t - W'q],$$

$$C_1 = \frac{1}{4} [\beta (2V'C_{a+\beta} - 2U'C'_{a+\beta} + C''_{a+\beta}) + 2U'r - s + \frac{1}{2} V'q];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} [\beta (4W'C_a - 2V'C_a + C''_a) + 2V'r - t + W'q],$$

$$C_1 = \frac{1}{4} [\beta (-2V'C_a + 2U'C_a - C''_a) - 2U'r + s - \frac{1}{2} V'q].$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi)],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi)],$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi - \alpha, \quad F' = 1,$$

$$A_2 = -\frac{1}{4} C''_\alpha,$$

$$B_2 = \frac{1}{4} [\beta (-4W' C_{\alpha+\beta} + 2V' C_{\alpha+\beta} - C'''_{\alpha+\beta}) - 2V'r - W'q + C''_{\alpha+\beta}],$$

$$C_2 = \frac{1}{4} [\beta (2V C_{\alpha+\beta} - 2U' C_{\alpha+\beta} + C''_{\alpha+\beta}) + 2U'r + \frac{1}{2} V'q - C_{\alpha+\beta}],$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\alpha;$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \alpha + \beta - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_2 = \frac{1}{4} (-4\beta C_\alpha + C'''_\alpha),$$

$$B_2 = \frac{1}{4} [\beta (4W' C_\alpha - 2V' C_\alpha) + 2V'r + W'q - C''_{\alpha+\beta}],$$

$$C_2 = \frac{1}{4} [\beta (-2V C_\alpha + 2U' C_\alpha) - 2U'r - \frac{1}{2} V'q + C_{\alpha+\beta}],$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (-\beta C'_\alpha - C_\alpha).$$

Для участка балки CD:

$$p = \frac{g}{\beta} (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_3 = \frac{1}{4} (4\beta C_{\alpha+\beta} + q),$$

$$B_3 = \frac{1}{4} [\beta (-4W'C_{\alpha+\beta} + 2V'C_{\alpha+\beta}) - 2V'r - W'q],$$

$$C_3 = \frac{1}{4} [\beta (2V'C_{\alpha+\beta} - 2U'C_{\alpha+\beta}) + 2U'r + \frac{1}{2} V'q],$$

$$D_3 = \frac{1}{4} (\beta C_{\alpha+\beta} - r);$$

для убывающей слева направо нагрузки

$$A_3 = \frac{1}{4} (-4\beta C_{\alpha} - q),$$

$$B_3 = \frac{1}{4} [\beta (4W'C_{\alpha} - 2V'C_{\alpha}) + 2V'r + W'q],$$

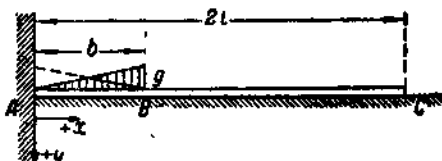
$$C_3 = \frac{1}{4} [\beta (-2V'C_{\alpha} + 2U'C_{\alpha}) - 2U'r - \frac{1}{2} V'q],$$

$$D_3 = \frac{1}{4} (-\beta C_{\alpha} + r).$$

СХЕМА 86.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на левом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_1 C_\varphi + B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'' + D_1 C_\varphi''')],$$

$$\text{tg } \nu = - \frac{gm}{\beta k} [F' + (A_1 C_\varphi' + B_1 C_\varphi'' + C_1 C_\varphi''' - 4D_1 C_\varphi)],$$

$$M = - \frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = - \frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi' - D_1 C_\varphi'' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1,$$

$$A_1 = 0,$$

$$B_1 = \frac{1}{4} [\beta (-4W'C_\beta + 2V'C_\beta - C_\beta'') + 2V' - 2V'C_\beta + C_\beta' - W'C_\beta'''],$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (2V'C_\beta - 2U'C_\beta + C_\beta') - 2U' + 2U'C_\beta - C_\beta + \frac{1}{2} V'C_\beta'' \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{4};$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \beta - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_1 = -\beta,$$

$$B_1 = \frac{1}{4} (4\beta W' - 2V' + 2V'C_\beta - C_\beta' + W'C_\beta'''),$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \left(-2\beta V' + 2U - 2U' C_\beta + C_\beta' - \frac{1}{2} V' C_\beta'' \right),$$

$$D_1 = -\frac{1}{4}.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{4} (4\beta C_\beta + C_\beta'''),$$

$$B_2 = \frac{1}{2} \left[\beta (-2W' C_\beta + V' C_\beta') + V' - V' C_\beta - \frac{1}{2} W' C_\beta''' \right],$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left[\beta (V' C_\beta - U' C_\beta) - U' + U' C_\beta + \frac{1}{4} V' C_\beta'' \right],$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (\beta C_\beta' - C_\beta + 1);$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{4} (-4\beta - C_\beta'''),$$

$$B_2 = \frac{1}{2} \left(2\beta W' - V' + V' C_\beta + \frac{1}{2} W' C_\beta'' \right),$$

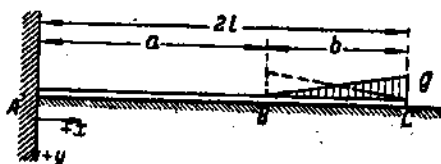
$$C_2 = \frac{1}{2} \left(-\beta V' + U' - U' C_\beta - \frac{1}{4} V' C_\beta'' \right),$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (C_\beta - 1).$$

СХЕМА 87.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на правом конечном участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} (B_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(-B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} (2VC_a - C_a'' + W'C_a'''),$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \left(-2UC_a + C_a - \frac{1}{2} V'C_a''' \right);$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} [\beta (4W'C_a - 2V'C_a + C_a''') - 2V'C_a + C_a'' - WC_a'''],$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2V'C_a + 2UC_a - C_a'') + 2UC_a - C_a + \frac{1}{2} V'C_a''' \right].$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi)],$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^3} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi'' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi - \alpha, \quad F' = 1,$$

$$A_2 = -\frac{1}{4} C_\alpha''',$$

$$B_2 = \frac{1}{2} \left(V' C_\alpha + \frac{1}{2} W' C_\alpha'' \right),$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left(-U C_\alpha - \frac{1}{4} V' C_\alpha''' \right),$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\alpha;$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = 2\lambda - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_2 = \frac{1}{4} (-4\beta C_\alpha + C_\alpha'''),$$

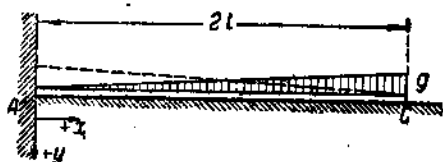
$$B_2 = \frac{1}{2} \left[\beta (2W' C_\alpha - V' C_\alpha') - V' C_\alpha - \frac{1}{2} W' C_\alpha'' \right],$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left[\beta (-V' C_\alpha + U' C_\alpha') + U' C_\alpha + \frac{1}{4} V' C_\alpha''' \right],$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (-\beta C_\alpha - C_\alpha').$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = \frac{g}{2\lambda} [F + (AC'_{\varphi} + BC'_{\varphi} + CC''_{\varphi} + DC'''_{\varphi})],$$

$$\operatorname{tg} v = -\frac{gm}{2\lambda k} [F' + (AC'_{\varphi} + BC'_{\varphi} + CC''_{\varphi} - 4DC'_{\varphi})],$$

$$M = -\frac{gd}{2\lambda m^2} \left(\frac{1}{4} AC''_{\varphi} + \frac{1}{4} BC'''_{\varphi} - CC'_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{2\lambda m} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - BC'_{\varphi} - CC'_{\varphi} - DC''_{\varphi} \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} F &= \varphi, & F' &= 1, \\ A &= 0, \\ B &= \frac{1}{2} V', \\ C &= -\frac{1}{2} U', \\ D &= \frac{1}{4}; \end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

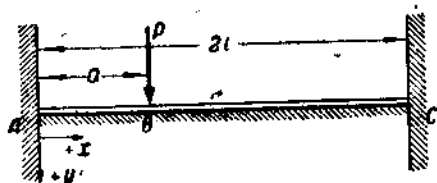
$$\begin{aligned} F &= 2\lambda - \varphi, & F' &= -1, \\ A &= -2\lambda, \\ B &= 2\lambda W' - \frac{1}{2} V', \\ C &= -\lambda V' + \frac{1}{2} U', \\ D &= -\frac{1}{4}. \end{aligned}$$

§ 15. Балки, заделанные на обоих концах.

СХЕМА 89.

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{Pm}{a} (B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^2}{kd} (B_1 C_\varphi'' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -P (-B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi'),$$

где

$$B_1 = C_\alpha - WC_\alpha + \frac{1}{2} VC_\alpha'',$$

$$C_1 = \frac{1}{2} VC_\alpha' - \frac{1}{2} UC_\alpha'' + \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{Pm}{d} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{Pm^2}{kd} (A_2 C_\varphi'' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = C_\alpha,$$

$$B_2 = -WC_\alpha + \frac{1}{2} VC_\alpha'',$$

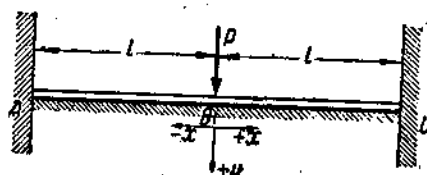
$$C_2 = \frac{1}{2} VC_\alpha' - \frac{1}{2} UC_\alpha'',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

СХЕМА 90.

Сосредоточенная сила приложена в середине балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки $\bar{BA}$:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC :

$$p = \frac{Pm}{d} \left(-\frac{1}{2} w C_{\varphi} - \frac{1}{2} C'_{\varphi} - \frac{1}{4} v C''_{\varphi} \right),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Pm^2}{kd} \left(-\frac{1}{2} w C'_{\varphi} - \frac{1}{2} C''_{\varphi} - \frac{1}{4} v C'''_{\varphi} \right),$$

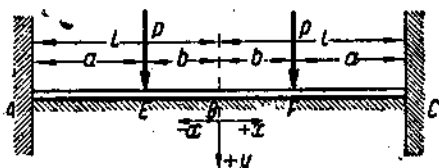
$$M = -\frac{P}{m} \left(-\frac{1}{8} w C''_{\varphi} - \frac{1}{8} C'''_{\varphi} + \frac{1}{4} v C_{\varphi} \right),$$

$$Q = -P \left(-\frac{1}{8} w C'''_{\varphi} + \frac{1}{2} C_{\varphi} + \frac{1}{4} v C'_{\varphi} \right).$$

СХЕМА 91.

Две равные сосредоточенные силы приложены в любых сечениях симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Для участка балки BF:

$$p = \frac{Pm}{d} (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Pm^3}{kd} (A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_1 = -w C_\beta - C_\beta' - \frac{1}{2} v C_\beta'',$$

$$C_1 = -\frac{1}{2} v C_\beta - \frac{1}{4} u C_\beta' + \frac{1}{4} C_\beta''.$$

Для участка балки FC:

$$p = \frac{Pm}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{Pm^3}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

Q — то же, с переменной знака.

$$Q = -P \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -w C_\beta - \frac{1}{2} v C_\beta',$$

$$B_2 = -C_\beta,$$

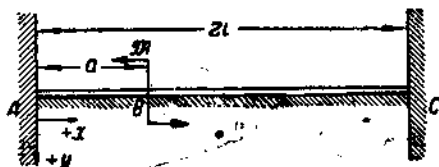
$$C_2 = -\frac{1}{2} v C_\beta - \frac{1}{4} u C_\beta'',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\beta''.$$

СХЕМА 92.

Момент приложен в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} (B_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m (-B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi'),$$

где

$$B_1 = \frac{1}{N} \left(-C_\alpha + WC_\alpha' - \frac{1}{2} VC_\alpha'' \right),$$

$$C_1 = \frac{1}{N} \left(C_\alpha - \frac{1}{2} VC_\alpha' + \frac{1}{2} UC_\alpha'' \right).$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -\frac{1}{N} C_\alpha',$$

$$B_2 = \frac{1}{N} \left(WC_\alpha' - \frac{1}{2} VC_\alpha'' \right),$$

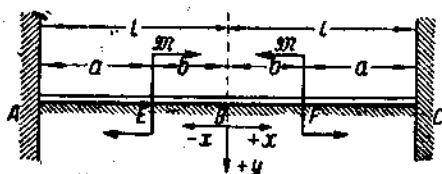
$$C_2 = \frac{1}{N} \left(-\frac{1}{2} VC_\alpha' + \frac{1}{2} UC_\alpha'' \right),$$

$$D_2 = -\frac{1}{N} \frac{1}{4} C_\alpha'''.$$

СХЕМА 93.

Два равных момента, направленные в разные стороны, приложены в любых сечениях симметрично, относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

Для участка балки BF:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_1 = w C_\beta' + C_\beta'' + \frac{1}{2} v C_\beta''',$$

$$C_1 = C_\beta + \frac{1}{2} v C_\beta' + \frac{1}{4} u C_\beta'''.$$

Для участка балки FC:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^2}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

$$M = -\Re \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \right. \\ \left. + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\Re m \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - \right. \\ \left. - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_2 = \omega C_\beta + \frac{1}{2} \nu C_\beta''',$$

$$B_2 = C_\beta',$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \nu C_\beta' + \frac{1}{4} \mu C_\beta''',$$

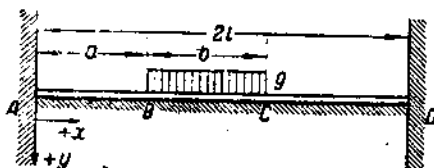
$$D_2 = -\frac{1}{4} C_\beta'''.$$



СХЕМА 94.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(B_1 C_\varphi'' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} (-B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi'),$$

где

$$B_1 = -Wr + \frac{1}{2} Vs - \frac{1}{4} q,$$

$$C_1 = \frac{1}{2} Vr - \frac{1}{2} Us + \frac{1}{4} t.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

$$A_2 = -C_\alpha,$$

$$B_2 = -Wr + \frac{1}{2} Vs - \frac{1}{4} C''_{\alpha+\beta},$$

$$C_2 = \frac{1}{2} Vr - \frac{1}{2} Us + \frac{1}{4} C''_{\alpha+\beta},$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} C_\alpha.$$

Для участка балки CD:

$$p = g(A_3 C_\varphi + B_3 C'_\varphi + C_3 C''_\varphi + D_3 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{h}(A_3 C'_\varphi + B_3 C''_\varphi + C_3 C'''_\varphi - 4D_3 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_3 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_3 C'''_\varphi - C_3 C_\varphi - D_3 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_3 C'''_\varphi - B_3 C_\varphi - C_3 C'_\varphi - D_3 C''_\varphi \right),$$

$$A_3 = r,$$

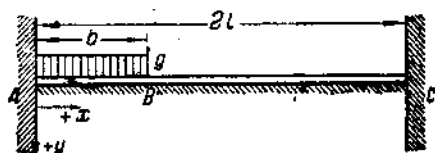
$$B_3 = -Wr + \frac{1}{2} Vs,$$

$$C_3 = \frac{1}{2} Vr - \frac{1}{2} Us,$$

$$D_3 = \frac{1}{4} s.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на левом конце-вом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g [1 + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi)],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi \right),$$

где

$$A_1 = -1,$$

$$B_1 = -WC_\beta + W + \frac{1}{2} VC'_\beta - \frac{1}{4} C'''_\beta,$$

$$C_1 = -\frac{1}{2} V + \frac{1}{2} VC_\beta - \frac{1}{2} UC'_\beta + \frac{1}{4} C''_\beta.$$

Для участка балки BC:

$$p = g (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),$$

где

$$A_2 = C_\beta - 1,$$

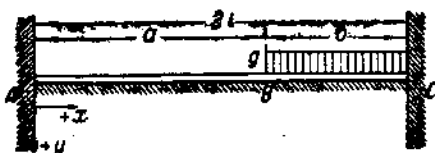
$$B_2 = W - WC_\beta + \frac{1}{2} VC'_\beta,$$

$$C_2 = -\frac{1}{2} V + \frac{1}{2} VC_\beta - \frac{1}{2} UC'_\beta,$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C'_\beta.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на правом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(B_1 C_\varphi'' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} (-B C_\varphi - C_1 C_\varphi'),$$

где

$$B_1 = \frac{C_{2\lambda}'''}{N} + WC_\alpha - \frac{1}{2} VC_\alpha' + \frac{1}{4} C_\alpha''',$$

$$C_1 = -\frac{C_{2\lambda}''}{N} - \frac{1}{2} VC_\alpha + \frac{1}{2} UC_\alpha' - \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha,$$

$$B_2 = \frac{C_{2\lambda}'''}{N} + WC_\alpha - \frac{1}{2} VC_\alpha',$$

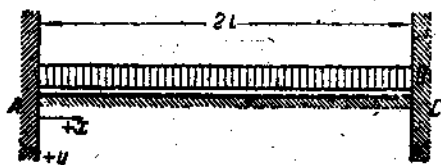
$$C_2 = -\frac{C_{2\lambda}''}{N} - \frac{1}{2} VC_\alpha + \frac{1}{2} UC_\alpha',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} C_\alpha''.$$

СХЕМА 97.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC :

$$p = g[1 + (AC_{\varphi} + BC'_{\varphi} + CC''_{\varphi})],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (AC'_{\varphi} + BC''_{\varphi} + CC'''_{\varphi}),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} AC''_{\varphi} + \frac{1}{4} BC'''_{\varphi} - CC_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - BC_{\varphi} - CC'_{\varphi} \right),$$

где

$$A = -1,$$

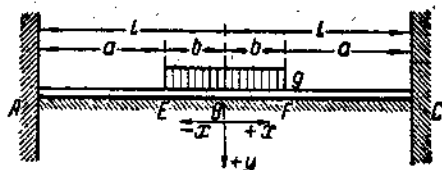
$$B = \frac{C_{2\lambda}'''}{N} + W,$$

$$C = -\frac{C_{2\lambda}''}{N} - \frac{1}{2} V.$$

СХЕМА 98.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на среднем участке симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки EA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

Для участка балки BF:

$$p = g[1 + (A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi'')],$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} (A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_1 = -C_\beta - \frac{1}{2} \nu C_\beta' + \frac{1}{4} \omega C_\beta''',$$

$$C_1 = -\frac{1}{4} \mu C_\beta' + \frac{1}{4} C_\beta'' + \frac{1}{8} \nu C_\beta''.$$

Для участка балки FC:

$$p = g(A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 \dot{C}_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -\frac{1}{2} v C_\beta' + \frac{1}{4} w C_\beta''',$$

$$B_2 = \frac{1}{4} C_\beta''',$$

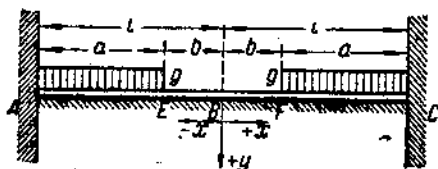
$$C_2 = -\frac{1}{4} u C_\beta' + \frac{1}{8} v C_\beta''',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\beta'.$$

СХЕМА 99.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на концевых участках симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BF,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BF:

$$p = g(A_1 C_\varphi + C_1 C_\varphi''),$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k}(A_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' - C_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_1 = \frac{C_\lambda'''}{n} + C_\beta + \frac{1}{2} v C_\beta' - \frac{1}{4} w C_\beta'' ,$$

$$C_1 = -\frac{C_\lambda'}{n} + \frac{1}{4} u C_\beta' - \frac{1}{4} C_\beta'' - \frac{1}{8} v C_\beta''' .$$

Для участка балки AE:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка FC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

Для участка балки FC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' - D_2 C_\varphi''')],$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = \frac{C_\lambda'''}{n} + \frac{1}{2} v C_\beta' - \frac{1}{4} w C_\beta''',$$

$$B_2 = -\frac{1}{4} C_\beta''',$$

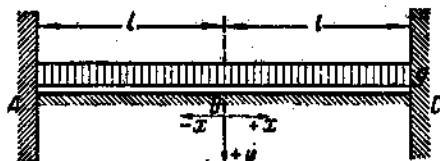
$$C_2 = -\frac{C_\lambda'}{n} + \frac{1}{4} u C_\beta' - \frac{1}{8} v C_\beta''',$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} C_\beta'.$$

СХЕМА 100.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем протяжении балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BA:

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC:

$$p = g \left[1 + \frac{1}{n} (C_{\lambda}''' C_{\varphi} - C_{\lambda}' C_{\varphi}') \right],$$

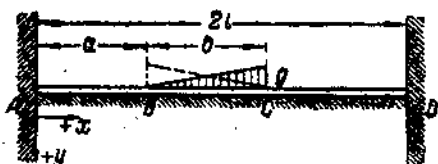
$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{k} \frac{1}{n} (C_{\lambda}''' C_{\varphi}' - C_{\lambda}' C_{\varphi}'''),$$

$$M = -\frac{gd}{m} \cdot \frac{1}{n} \left(\frac{1}{4} C_{\lambda}''' C_{\varphi}'' + C_{\lambda}' C_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \frac{1}{n} \left(\frac{1}{4} C_{\lambda}'' C_{\varphi}''' + C_{\lambda}' C_{\varphi}' \right).$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned} p &= \frac{g}{\beta} (B_1 C_\varphi' + C_1 C_\varphi''), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} (B_1 C_\varphi'' + C_1 C_\varphi'''), \\ M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{gd}{\beta m} (-B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi'), \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{1}{4} [\beta (-4WC_{a+\beta} + 2VC_{a+\beta}' - C_{a+\beta}'') - 2Vr + t - Wq], \\ C_1 &= \frac{1}{2} \left[\beta (VC_{a+\beta} - UC_{a+\beta}' + \frac{1}{2} C_{a+\beta}'') + Ur - \frac{1}{2} s + \frac{1}{4} Vq \right]; \end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{1}{4} [\beta (4WC_a - 2VC_a' + C_a'') + 2Vr - t + Wq], \\ C_1 &= \frac{1}{2} \left[\beta (-VC_a + UC_a' - \frac{1}{2} C_a'') - Ur + \frac{1}{2} s - \frac{1}{4} Vq \right]. \end{aligned}$$

Для участка балки BC:

$$\begin{aligned} p &= \frac{g}{\beta} [F + (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi''')], \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi)], \\ M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right), \\ Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right), \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi - \alpha, \quad F' = 1,$$

$$A_2 = -\frac{1}{4} C''',$$

$$B_2 = \frac{1}{4} [\beta (-4WC_{\alpha+\beta} + 2VC'_{\alpha+\beta} - C'''_{\alpha+\beta}) - 2Vr - Wq + C''_{\alpha+\beta}],$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left[\beta (VC_{\alpha+\beta} - UC'_{\alpha+\beta} + \frac{1}{2} C''_{\alpha+\beta}) + Ur + \frac{1}{4} Vq - \frac{1}{2} C'_{\alpha+\beta} \right],$$

$$D_2 = \frac{1}{4} C_\alpha;$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \alpha + \beta - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_2 = \frac{1}{4} (-4\beta C_\alpha + C''_\alpha),$$

$$B_2 = \frac{1}{4} [\beta (4WC_\alpha - 2VC'_\alpha) + 2Vr + Wq - C''_{\alpha+\beta}],$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left[\beta (-VC_\alpha + UC'_\alpha) - Ur - \frac{1}{4} Vq + \frac{1}{2} C'_{\alpha+\beta} \right],$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (-\beta C'_\alpha - C_\alpha).$$

Для участка балки CD:

$$p = \frac{g}{\beta} (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{4} (4\beta C_{\alpha+\beta} + q),$$

$$B_2 = \frac{1}{2} [\beta (-2WC_{\alpha+\beta} + VC'_{\alpha+\beta}) - Vr - \frac{1}{2} Wq],$$

$$C_2 = \frac{1}{2} [\beta (VC_{\alpha+\beta} - UC'_{\alpha+\beta}) + Ur + \frac{1}{4} Vq],$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (\beta C'_{\alpha+\beta} - r);$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{4} (-4\beta C_\alpha - q),$$

$$B_2 = \frac{1}{2} [\beta (2WC_\alpha - VC'_\alpha) + Vr + \frac{1}{2} Wq],$$

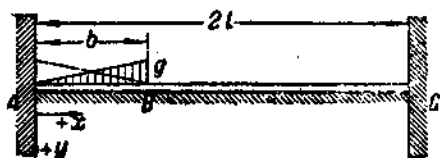
$$C_2 = \frac{1}{2} [\beta (-VC_\alpha + UC'_\alpha) - Ur - \frac{1}{4} Vq],$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (-\beta C'_\alpha + r).$$

СХЕМА 102.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на левом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{g}{\beta} [F + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi + D_1 C'''_\varphi)], \\
 \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi - 4D_1 C_\varphi)], \\
 M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\
 Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi - D_1 C''_\varphi \right),
 \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1,$$

$$A_1 = 0,$$

$$B_1 = \frac{1}{4} [\beta (-4WC_\beta + 2VC'_\beta - C''_\beta) + 2V - 2VC_\beta + C'_\beta - WC''_\beta],$$

$$C_1 = \frac{1}{2} \left[\beta (VC_\beta - UC'_\beta + \frac{1}{2} C''_\beta) - U + UC_\beta - \frac{1}{2} C'_\beta + \frac{1}{4} VC''_\beta \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{4};$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \beta - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_1 = -\beta,$$

$$B_1 = \frac{1}{4} (4\beta W - 2V + 2VC_\beta - C''_\beta + WC''_\beta),$$

$$C_1 = \frac{1}{2} \left(-\beta V + U - UC_\beta + \frac{1}{2} C'_\beta - \frac{1}{4} VC''_\beta \right),$$

$$D_1 = -\frac{1}{4}.$$

Для участка балки BC :

$$\begin{aligned} p &= \frac{g}{\beta} (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{1}{4} (4\beta C_\beta + C'''_\beta), \\ B_2 &= \frac{1}{4} [\beta (-4WC_\beta + 2VC'_\beta) + 2V - 2VC_\beta - WC'''_\beta], \\ C_2 &= \frac{1}{2} [\beta (VC_\beta - UC'_\beta) - U + UC_\beta + \frac{1}{4} VC'''_\beta], \\ D_2 &= \frac{1}{4} (\beta C'_\beta - C_\beta + 1); \end{aligned}$$

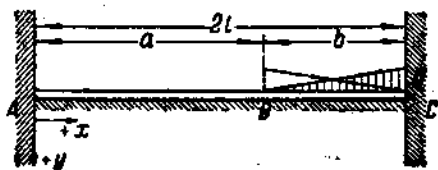
для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{1}{4} (-4\beta - C'''_\beta), \\ B_2 &= \frac{1}{4} (4\beta W - 2V + 2VC_\beta + WC'''_\beta), \\ C_2 &= \frac{1}{2} \left(-\beta V + U - UC_\beta - \frac{1}{4} VC'''_\beta \right) \\ D_2 &= \frac{1}{4} (C_\beta - 1). \end{aligned}$$

СХЕМА 103.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на правом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} (B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} v = -\frac{gm}{\beta k} (B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} (-B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\frac{4}{N} (\beta C''_{2\lambda} - C''_{2\lambda}) + 2VC_\alpha - C'_\alpha + WC'''_\alpha \right],$$

$$C_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{2}{N} (-\beta C''_{2\lambda} + C'_{2\lambda}) - UC_\alpha + \frac{1}{2} C'_\alpha - \frac{1}{4} VC''_\alpha \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (4WC_\alpha - 2VC'_\alpha + C''_\alpha) + \frac{4}{N} C''_{2\lambda} - \right. \\ \left. - 2VC_\alpha + C'_\alpha - WC'''_\alpha \right],$$

$$C_1 = \frac{1}{2} \left[\beta (-VC_\alpha + UC'_\alpha - \frac{1}{2} C'_\alpha - \frac{2}{N} C'_{2\lambda}) + \right. \\ \left. + UC_\alpha - \frac{1}{2} C'_\alpha + \frac{1}{4} VC''_\alpha \right].$$

Для участка балки BC:

$$\begin{aligned} p &= \frac{g}{\beta} [F + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi + D_1 C'''_\varphi)], \\ \text{tg } \nu &= -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi - 4D_1 C_\varphi)], \\ M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi - D_1 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

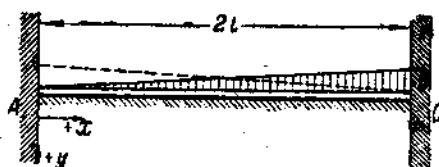
$$\begin{aligned} F &= \varphi - \alpha, \quad F' = 1, \\ A_1 &= -\frac{1}{4} C''_\alpha, \\ B_1 &= \frac{1}{4} \left[\frac{4}{N} (\beta C'''_{2\lambda} - C'''_{2\lambda}) + 2VC_\alpha + WC'''_\alpha \right], \\ C_1 &= \frac{1}{2} \left[\frac{2}{N} (-\beta C''_{2\lambda} + C'_{2\lambda}) - UC_\alpha - \frac{1}{4} VC'''_\alpha \right], \\ D_1 &= \frac{1}{4} C_\alpha; \end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned} F &= 2\lambda - \varphi, \quad F' = -1, \\ A_1 &= \frac{1}{4} (-4\beta C_\alpha + C'''_\alpha), \\ B_1 &= \frac{1}{4} \left[\beta (4WC_\alpha - 2VC'_\alpha) + \frac{4}{N} C'''_{2\lambda} - 2VC_\alpha - WC'''_\alpha \right], \\ C_1 &= \frac{1}{2} \left[\beta (-VC_\alpha + UC'_\alpha) - \frac{2}{N} C'_{2\lambda} + UC_\alpha + \frac{1}{4} VC'''_\alpha \right], \\ D_1 &= \frac{1}{4} (-\beta C'_\alpha - C_\alpha). \end{aligned}$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = \frac{g}{2\lambda} [F + (AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}' + CC_{\varphi}'' + DC_{\varphi}''')],$$

$$\operatorname{tg} v = -\frac{gm}{2\lambda k} [F' + (AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}'' + CC_{\varphi}''' - 4DC_{\varphi}')],$$

$$M = -\frac{gd}{2\lambda m} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}'' + \frac{1}{4} BC_{\varphi}'' - CC_{\varphi}' - DC_{\varphi}' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{2\lambda m} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}''' - BC_{\varphi}' - CC_{\varphi}' - DC_{\varphi}'' \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1,$$

$$A = 0,$$

$$B = \frac{1}{2} V + \frac{1}{N} (2\lambda C_{2\lambda}''' - C_{2\lambda}''),$$

$$C = -\frac{1}{2} U + \frac{1}{N} (-2\lambda C_{2\lambda}'' + C_{2\lambda}'),$$

$$D = \frac{1}{4};$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = 2\lambda - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A = -2\lambda,$$

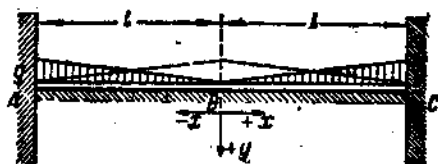
$$B = 2\lambda W - \frac{1}{2} V + \frac{1}{N} C_{2\lambda}'',$$

$$C = -\lambda V + \frac{1}{2} U - \frac{1}{N} C_{2\lambda}',$$

$$D = -\frac{1}{4}.$$

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на левой и правой половинах симметрично относительно середины балки.

Начало координат в середине.



Для участка балки BA :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC :

$$p = \frac{g}{\lambda} [F + (AC_{\varphi} + CC'' + DC''')],$$

$$\text{tg } \nu = -\frac{gm}{\lambda k} [F' + (AC'_{\varphi} + CC''' - 4DC_{\varphi})],$$

$$M = -\frac{gd}{\lambda m^2} \left(\frac{1}{4} AC''_{\varphi} - CC_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\lambda m} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - CC'_{\varphi} - DC''_{\varphi} \right),$$

где для возрастающей от середины к концам нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1,$$

$$A = -\frac{1}{2} \vartheta + \frac{1}{n} (\lambda C'''_{\lambda} - C''_{\lambda}),$$

$$C = -\frac{1}{4} u + \frac{1}{n} (-\lambda C'_{\lambda} + C_{\lambda}),$$

$$D = \frac{1}{4};$$

для убывающей от середины к концам нагрузки:

$$F = \lambda - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A = \frac{1}{2} \vartheta + \frac{1}{n} C''_{\lambda},$$

$$C = \frac{1}{4} u - \frac{1}{n} C_{\lambda},$$

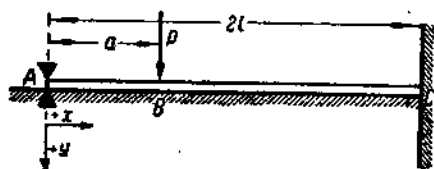
$$D = -\frac{1}{4}.$$

§ 16. Балки с неподвижной опорой на одном конце и защемленные на другом.

СХЕМА 106.

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned} p &= \frac{Pm}{d} (B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{Pm^2}{kd} (B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi), \\ M &= -\frac{P}{m} \left(-\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right), \\ Q &= -P (-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi''), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} B_1 &= C_\alpha - \frac{1}{2} U'' C_\alpha' - \frac{1}{4} V'' C_\alpha''', \\ D_1 &= -\frac{1}{4} V'' C_\alpha' - \frac{1}{4} C_\alpha'' - \frac{1}{8} W'' C_\alpha'''. \end{aligned}$$

Для участка балки BC:

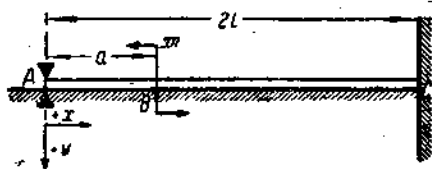
$$\begin{aligned} p &= \frac{Pm}{d} (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''), \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{Pm^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{P}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right), \\ Q &= -P \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2 &= C_\alpha', \\ B_2 &= -\frac{1}{2} U'' C_\alpha' - \frac{1}{4} V'' C_\alpha'', \\ C_2 &= -\frac{1}{4} C_\alpha''', \\ D_2 &= -\frac{1}{4} V'' C_\alpha' - \frac{1}{8} W'' C_\alpha'''. \end{aligned}$$

Момент приложен в любом сечении балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^3}{d} (B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi'' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m (-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi''),$$

где

$$B_1 = -V'' C_\alpha - C_\alpha' + \frac{1}{2} U' C_\alpha'',$$

$$D_1 = -\frac{1}{2} W' C_\alpha + \frac{1}{4} V'' C_\alpha'' + \frac{1}{4} C_\alpha''.$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{\mathfrak{M}m^3}{d} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{\mathfrak{M}m^2}{kd} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\mathfrak{M} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi'' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\mathfrak{M}m \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi' \right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha'',$$

$$B_2 = -V'' C_\alpha + \frac{1}{2} U' C_\alpha'',$$

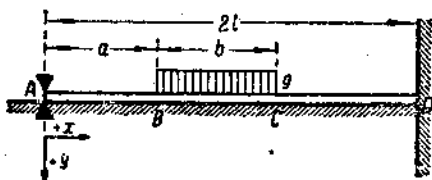
$$C_2 = -C_\alpha,$$

$$D_2 = -\frac{1}{2} W' C_\alpha + \frac{1}{4} V'' C_\alpha''.$$

СХЕМА 108.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}(-B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi'),$$

где

$$B_1 = -\frac{1}{2}U'r - \frac{1}{4}V't - \frac{1}{4}q,$$

$$D_1 = -\frac{1}{4}V'r - \frac{1}{4}s - \frac{1}{8}W't.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' + D_2 C_\varphi''')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k}(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4}B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi'\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi''\right),$$

где

$$A_1 = -C_\alpha,$$

$$B_1 = -\frac{1}{2} U'' r - \frac{1}{4} V'' t - \frac{1}{4} C_{\alpha+\beta}''',$$

$$C_1 = \frac{1}{4} C_\alpha'',$$

$$D_1 = -\frac{1}{4} V'' r - \frac{1}{8} W'' t - \frac{1}{4} C_{\alpha+\beta}'.$$

Для участка балки CD:

$$p = g (A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (A_3 C_\varphi' + B_3 C_\varphi'' + C_3 C_\varphi''' - 4D_3 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi'' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_3 C_\varphi''' - B_3 C_\varphi - C_3 C_\varphi' - D_3 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = r,$$

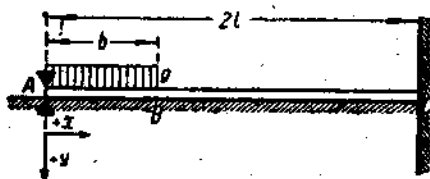
$$B_2 = -\frac{1}{2} U'' r - \frac{1}{4} V'' t,$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} t,$$

$$D_2 = -\frac{1}{4} V'' r - \frac{1}{8} W'' t.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на левом конце-
вом участке балки.

Начало координат на левом конце.



$$\begin{aligned}
 p &= g[1 + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + D_1 C''_\varphi)], \\
 \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{k} (A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi - 4D_1 C_\varphi), \\
 M &= -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\
 Q &= -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right),
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 A_1 &= -1, \\
 B_1 &= \frac{1}{2} U'' - \frac{1}{2} U'' C_\beta - \frac{1}{4} V'' C'_\beta - \frac{1}{4} C'''_\beta, \\
 D_1 &= \frac{1}{4} V'' - \frac{1}{4} V'' C_\beta - \frac{1}{4} C'_\beta - \frac{1}{8} W'' C'_\beta.
 \end{aligned}$$

Для участка балки BC:

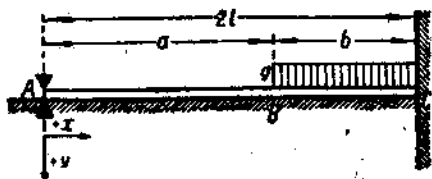
$$\begin{aligned}
 p &= g(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\
 \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\
 M &= -\frac{gd}{m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\
 Q &= -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 A_2 &= -1 + C_\beta, \\
 B_2 &= \frac{1}{2} U'' - \frac{1}{2} U'' C_\beta - \frac{1}{4} V'' C'_\beta, \\
 C_2 &= -\frac{1}{4} C'_\beta, \\
 D_2 &= \frac{1}{4} V'' - \frac{1}{4} V'' C_\beta - \frac{1}{8} W'' C'_\beta.
 \end{aligned}$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на правом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = g(B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^3} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} (-B_1 C_\varphi' - D_1 C_\varphi''),$$

где

$$B_1 = \frac{1}{2} U'' C_\alpha + \frac{1}{4} V'' C_\alpha'' + \frac{1}{4} C_\alpha''' - 2 \frac{C_\alpha \lambda}{N''},$$

$$D_1 = \frac{1}{4} V'' C_\alpha + \frac{1}{4} C_\alpha' + \frac{1}{8} W'' C_\alpha'' - \frac{1}{2} \frac{C_\alpha' \lambda}{N''}.$$

Для участка балки BC:

$$p = g[1 + (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' + D_2 C_\varphi'')],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{k} (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{m^3} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi' - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = -C_\alpha,$$

$$B_2 = \frac{1}{2} U'' C_\alpha + \frac{1}{4} V'' C_\alpha'' - 2 \frac{C_\alpha \lambda}{N''},$$

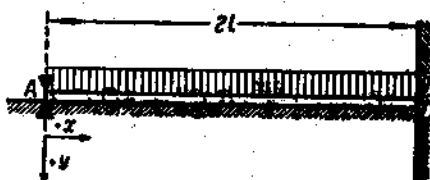
$$C_2 = \frac{1}{4} C_\alpha',$$

$$D_2 = \frac{1}{4} V'' C_\alpha + \frac{1}{8} W'' C_\alpha'' - \frac{1}{2} \frac{C_\alpha' \lambda}{N''}.$$

СХЕМА III.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = g[1 + (AC_{\varphi} + BC'_{\varphi} + DC'''_{\varphi})],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{h}(AC'_{\varphi} + BC''_{\varphi} - 4DC_{\varphi}),$$

$$M = -\frac{gd}{m^2}\left(\frac{1}{4}AC''_{\varphi} + \frac{1}{4}BC'''_{\varphi} - DC'_{\varphi}\right),$$

$$Q = -\frac{gd}{m}\left(\frac{1}{4}AC'''_{\varphi} - BC_{\varphi} - DC''_{\varphi}\right),$$

где

$$A = -1,$$

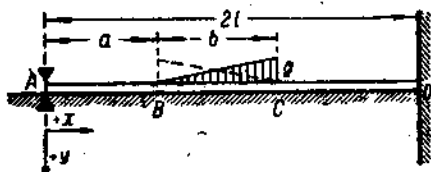
$$B = \frac{1}{2}U'' - 2\frac{C_{2\lambda}}{N''},$$

$$D = \frac{1}{4}V'' - \frac{1}{2}\frac{C'_{2\lambda}}{N''}.$$

СХЕМА 112.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на любом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$p = \frac{g}{\beta} (B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (B_1 C_\varphi' - 4D_1 C_\varphi'),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} (-B_1 C_\varphi' - D_1 C_\varphi''),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2U'' C_{a+\beta} - V'' C_{a+\beta}' - C_{a+\beta}''') + V'' s + t - \frac{1}{2} U'' q \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (-V'' C_{a+\beta} - C_{a+\beta}' - \frac{1}{2} W'' C_{a+\beta}') + r + \frac{1}{2} W'' s - \frac{1}{4} V'' q \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (2U'' C_a + V'' C_a' + C_a'') - V'' s - t + \frac{1}{2} U'' q \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (V'' C_a + C_a' + \frac{1}{2} W'' C_a') - r - \frac{1}{2} W'' s + \frac{1}{4} V'' q \right].$$

Для участка балки BC:

$$p = \frac{g}{\beta} [F + (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi)],$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi)],$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi - \alpha, \quad F' = 1,$$

$$A_2 = -\frac{1}{4} C''_\alpha,$$

$$B_2 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2U' C_{\alpha+\beta} - V'' C''_{\alpha+\beta} - C'''_{\alpha+\beta}) + V'' s - \frac{1}{2} U' q + C'_{\alpha+\beta} \right],$$

$$C_2 = -\frac{1}{4} C'_\alpha,$$

$$D_2 = \frac{1}{4} \left[\beta (-V'' C_{\alpha+\beta} - C'_{\alpha+\beta} - \frac{1}{2} W'' C''_{\alpha+\beta}) + \frac{1}{2} W'' s - \frac{1}{4} V'' q + C_{\alpha+\beta} \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \alpha + \beta - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_2 = \frac{1}{4} (-4\beta C_\alpha + C''_\alpha),$$

$$B_2 = \frac{1}{4} \left[\beta (2U' C_\alpha + V'' C'_\alpha) - V'' s + \frac{1}{2} U' q - C'_{\alpha+\beta} \right],$$

$$C_2 = \frac{1}{4} (\beta C'_\alpha + C'_\alpha),$$

$$D_2 = \frac{1}{4} \left[\beta (V'' C_\alpha + \frac{1}{2} W'' C'_\alpha) - \frac{1}{2} W'' s + \frac{1}{4} V'' q - C_{\alpha+\beta} \right].$$

Для участка балки CD:

$$p = \frac{g}{\beta} (A_3 C_\varphi + B_3 C'_\varphi + C_3 C''_\varphi + D_3 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_3 C'_\varphi + B_3 C''_\varphi + C_3 C'''_\varphi - 4D_3 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_3 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_3 C'''_\varphi - C_3 C_\varphi - D_3 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_3 C'''_\varphi - B_3 C_\varphi - C_3 C'_\varphi - D_3 C''_\varphi \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_s = \frac{1}{4} (4\beta C_{\alpha+\beta} + q),$$

$$B_s = \frac{1}{4} \left[\beta (-2U'' C_{\alpha+\beta} - V'' C''_{\alpha+\beta}) + V'' s - \frac{1}{2} U'' q \right],$$

$$C_s = \frac{1}{4} (-\beta C''_{\alpha+\beta} + s),$$

$$D_s = \frac{1}{4} \left[\beta (-V'' C_{\alpha+\beta} - \frac{1}{2} W'' C''_{\alpha+\beta}) + \frac{1}{2} W'' s - \frac{1}{4} V'' q \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_s = \frac{1}{4} (-4\beta C_\alpha - q),$$

$$B_s = \frac{1}{4} \left[\beta (2U'' C_\alpha + V'' C'_\alpha) - V'' s + \frac{1}{2} U'' q \right],$$

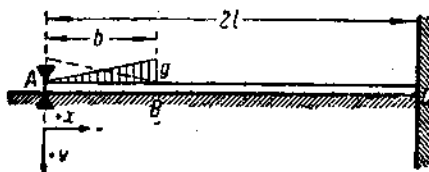
$$C_s = \frac{1}{4} (\beta C'_\alpha - s),$$

$$D_s = \frac{1}{4} \left[\beta (V'' C_\alpha + \frac{1}{2} W'' C'_\alpha) - \frac{1}{2} W'' s + \frac{1}{4} V'' q \right].$$

СХЕМА 113.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на левом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB:

$$\begin{aligned} p &= \frac{g}{\beta} [F + (A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + D_1 C''_\varphi)], \\ \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi - 4D_1 C_\varphi)], \\ M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi - B_1 C_\varphi - D_1 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1,$$

$$A_1 = 0,$$

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2U'' C_\beta - V'' C'_\beta - C''_\beta) + V'' C'_\beta + C''_\beta - \frac{1}{2} U'' C'''_\beta \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{4} \left[\beta (-V'' C_\beta - C_\beta - \frac{1}{2} W'' C'_\beta) + C_\beta + \frac{1}{2} W'' C'_\beta - \frac{1}{4} V'' C''_\beta \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = \beta - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A_1 = -\beta,$$

$$B_1 = \frac{1}{4} (2\beta U'' - V'' C'_\beta - C''_\beta + \frac{1}{2} U'' C'''_\beta),$$

$$D_1 = \frac{1}{4} (\beta V'' - C_\beta - \frac{1}{2} W'' C'_\beta + \frac{1}{4} V'' C''_\beta).$$

Для участка балки BC :

$$p = \frac{g}{\beta} (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi + 4 D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{4} (4\beta C_\beta + C'''_\beta),$$

$$B_2 = \frac{1}{4} \left[\beta (-2U' C_\beta - V'' C''_\beta) + V' C'_\beta - \frac{1}{2} U'' C'''_\beta \right],$$

$$C_2 = \frac{1}{4} (-\beta C''_\beta + C'_\beta),$$

$$D_2 = \frac{1}{4} \left[\beta (-V' C_\beta - \frac{1}{2} W'' C''_\beta) + \frac{1}{2} W' C'_\beta - \frac{1}{4} V'' C'''_\beta \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$A_2 = \frac{1}{4} (-4\beta - C'''_\beta),$$

$$B_2 = \frac{1}{4} (2\beta U'' - V'' C'_\beta + \frac{1}{2} U'' C'''_\beta),$$

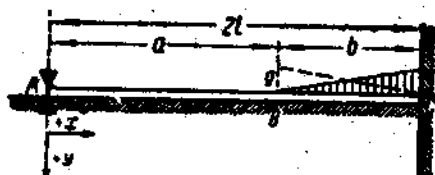
$$C_2 = -\frac{1}{4} C'_\beta,$$

$$D_2 = \frac{1}{4} (\beta V' - \frac{1}{2} W'' C'_\beta + \frac{1}{4} V'' C'''_\beta).$$

СХЕМА 114.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на правом концевом участке балки.

Начало координат на левом конце.



Для участка балки AB :

$$p = \frac{q}{\beta} (B_1 C_\varphi + D_1 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -\frac{gm}{\beta k} (B_1 C_\varphi'' - 4 D_1 C_\varphi''),$$

$$M = -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi''' \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{\beta m} (-B_1 C_\varphi' - D_1 C_\varphi''),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{N''} (-4\beta C_{2\lambda} - C_{2\lambda}''') - \frac{1}{2} V'' C_\alpha - \frac{1}{2} C_\alpha'' + \frac{1}{4} U'' C_\alpha''' \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{N''} (-\beta C_{2\lambda}'' + C_{2\lambda}'') - \frac{1}{2} C_\alpha - \frac{1}{4} W'' C_\alpha' + \frac{1}{8} V'' C_\alpha''' \right];$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$B_1 = \frac{1}{2} \left[\beta \left(U'' C_\alpha + \frac{1}{2} V'' C_\alpha'' + \frac{1}{2} C_\alpha''' \right) + \frac{C_{2\lambda}'''}{N''} + \frac{1}{2} V'' C_\alpha + \frac{1}{2} C_\alpha'' - \frac{1}{4} U'' C_\alpha''' \right],$$

$$D_1 = \frac{1}{2} \left[\beta \left(\frac{1}{2} V'' C_\alpha + \frac{1}{2} C_\alpha + \frac{1}{4} W'' C_\alpha' \right) - \frac{C_{2\lambda}''}{N''} + \frac{1}{2} C_\alpha + \frac{1}{4} W'' C_\alpha' - \frac{1}{8} V'' C_\alpha''' \right].$$

Для участка балки BC:

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{g}{\beta} [F + (A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi)], \\
 \operatorname{tg} \nu &= -\frac{gm}{\beta k} [F' + (A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi)], \\
 M &= -\frac{gd}{\beta m^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\
 Q &= -\frac{gd}{\beta m} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),
 \end{aligned}$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned}
 F &= \varphi - \alpha, & F' &= 1, \\
 A_2 &= -\frac{1}{4} C''_\alpha, \\
 B_2 &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{N''} (-4\beta C_{2\lambda} - C'''_{2\lambda}) - \frac{1}{2} V'' C'_\alpha + \frac{1}{4} U'' C'''_\alpha \right], \\
 C_2 &= -\frac{1}{4} C'_\alpha, \\
 D_2 &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{N''} (-\beta C'''_{2\lambda} + C'_{2\lambda}) - \frac{1}{4} W'' C'_\alpha + \frac{1}{8} V'' C'''_\alpha \right];
 \end{aligned}$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$\begin{aligned}
 F &= 2\lambda - \varphi, & F' &= -1, \\
 A_2 &= \frac{1}{4} (-4\beta C_\alpha + C'''_\alpha), \\
 B_2 &= \frac{1}{2} \left[\beta (U'' C_\alpha + \frac{1}{2} V'' C'_\alpha) + \frac{C'''_{2\lambda}}{N''} + \frac{1}{2} V'' C'_\alpha - \frac{1}{4} U'' C'''_\alpha \right], \\
 C_2 &= \frac{1}{4} (\beta C''_\alpha + C'_\alpha), \\
 D_2 &= \frac{1}{2} \left[\beta \left(\frac{1}{2} V'' C_\alpha + \frac{1}{4} W'' C'_\alpha \right) - \frac{C_{2\lambda}}{N''} + \frac{1}{4} W'' C'_\alpha - \frac{1}{8} V'' C'''_\alpha \right].
 \end{aligned}$$

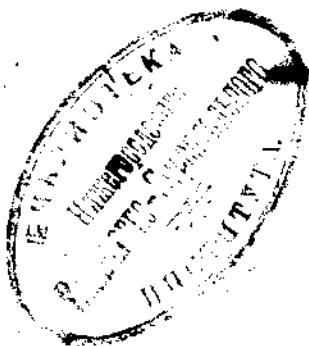
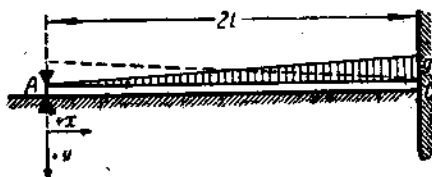


СХЕМА 115.

Распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону, расположена на всем протяжении балки.

Начало координат на левом конце.



Для всей балки AC:

$$p = -\frac{g}{2\lambda} [F + (AC_{\varphi} + BC'_{\varphi} - DC'''_{\varphi})],$$

$$\operatorname{tg} v = -\frac{gm}{2\lambda k} [F + (AC'_{\varphi} + BC''_{\varphi} - 4DC'_{\varphi})],$$

$$M = -\frac{gd}{2\lambda m^2} \left(\frac{1}{4} AC''_{\varphi} + \frac{1}{4} BC'''_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{gd}{2\lambda m} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - BC_{\varphi} - DC''_{\varphi} \right),$$

где для возрастающей слева направо нагрузки:

$$F = \varphi, \quad F' = 1,$$

$$A = 0,$$

$$B = \frac{1}{N''} \left(-4\lambda C_{2\lambda} - \frac{1}{2} C_{2\lambda}''' \right),$$

$$D = \frac{1}{N''} \left(-\lambda C_{2\lambda}'' + \frac{1}{2} C_{2\lambda}' \right);$$

для убывающей слева направо нагрузки:

$$F = 2\lambda - \varphi, \quad F' = -1,$$

$$A = -2\lambda,$$

$$B = \frac{1}{2} \left(2\lambda U'' + \frac{1}{N''} C_{2\lambda}''' \right),$$

$$D = \frac{1}{2} \left(\lambda V'' - \frac{1}{N''} C_{2\lambda} \right).$$

БАЛКИ СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ.

§ 17. Обозначения и подстановки, принятые в формулах главы IV.

Глава IV содержит формулы для расчета балок, лежащих на упругом основании и состоящих из двух или трех участков с различными конечными или бесконечно большими величинами моментов инерции, жестко или шарнирно связанных между собою.

Формулы для схем балок с участками, имеющими бесконечно большой момент инерции, применимы к случаю конечных величин моментов инерции на тех же участках, если эти участки являются жесткими, т. е. для них соблюдено условие $\lambda_2 = \frac{l_2 m_2}{2} < 0,4$ (см. § 2, стр. 25).

Приведенные схемы соответствуют распределению нагрузок в большинстве сооружений, рассчитываемых по методам теории упругости, в том числе: сплошных фундаментов зданий, фундаментов под колонны и машинные установки, подпорных стен и набережных, сплошных днищ шлюзов и доков, плотин связанных с понурными плитами и т. п.; для наиболее характерных схем в тексте указаны случаи их применения.

Формулы главы IV составлены в предположении коротких составных участков балки, что в большинстве случаев соответствует рассматриваемым схемам сооружений.

Для длинных составных участков балок формулы остаются в силе, однако в этом случае их можно видоизменить, приведя к несколько более простому виду.

Тогда для этих участков следует подставить вместо функций N, U, V, W их пределы для аргумента равного бесконечности с заменой функций вида C_φ функциями E_φ (см. форм. [3], § 10, стр. 75).

В формулах § 18 подобное же преобразование может быть выполнено путем замены элементарных схем § 11 А — соответствующими схемами § 11 Б.

Формулы § 18 не изменяют своего вида в том случае, если участок балки, имеющий больший момент инерции, расположен справа.

В формулах главы IV приняты следующие обозначения, причем цифровые или буквенные индексы означают принадлежность данной величины к участку или точке, указанным на соответствующей схеме ¹⁾.

¹⁾ Это правило не распространяется на индексы при произвольных постоянных интегрирования.

Для элементов деформации:

- R — реакция основания,
 $\operatorname{tg} \gamma$ — тангенс угла наклона нейтральной линии к горизонту,
 M — изгибающий момент,
 Q — перерезывающая сила.

Измерения величин элементов деформации зависят от соответствующих измерений, принятых для балки и внешних нагрузок.

При определении величин элементов деформации принято следующее правило знаков: реакция основания считается положительной, если она направлена кверху; угол поворота сечения считается положительным, если он получен путем вращения в направлении против часовой стрелки; изгибающие моменты положительны, если они стремятся изогнуть балку выпуклостью книзу; перерезывающая сила положительна, если она стремится поднять кверху часть балки влево от рассматриваемого сечения.

Для нагрузок:

- P — сосредоточенная сила,
 M — момент,
 g — ордината равномерно распределенной нагрузки,
 P_0 — вертикальная сосредоточенная сила в сечении примыкания участков балки с конечными и бесконечно большими моментами инерции.

P_0 — определяется путем алгебраического суммирования всех вертикальных активных сил, приложенных к участку с бесконечно большим моментом инерции.

Противодавление воды снизу принимается как активная сила в том случае, если оно учитывается при определении ординаты равномерно распределенной нагрузки g_0 на участке с конечным моментом инерции.

- R_0 — горизонтальная сосредоточенная сила, действующая по направлению нейтральной оси балки.

R_0 — определяется путем алгебраического суммирования всех горизонтальных активных сил, приложенных к участку с бесконечно большим моментом инерции.

Сила R_0 — не вызывает изгиба балки и потому не входит в формулы для величин элементов деформации. Эта сила учитывается при определении устойчивости сооружения на сдвиг или при подборе арматуры.

- M_0 — момент в сечении примыкания участков балки с конечными и бесконечно большими моментами инерции.

M_0 — определяется путем алгебраического суммирования моментов всех вертикальных и горизонтальных актив-

ных сил, приложенных к участку с бесконечно большим моментом инерции, относительно нейтральной линии балки в сечении изменения момента инерции.

g_0 — ордината равномерно распределенной нагрузки, расположенной на участках балки с конечными величинами моментов инерции.

g_0 — определяется путем алгебраического суммирования ординат равномерно распределенных нагрузок, расположенных на рассматриваемых участках. Противодавление воды снизу принимается как активная сила в том случае, если оно учитывается при определении сосредоточенной силы P_0 .

Приведенные формулы справедливы при положительных значениях нагрузок P , M , g , P_0 , M_0 и g_0 , соответствующих указанным на чертежах схем направлениям их действия. Если некоторые из нагрузок имеют по заданию обратное направление, то в формулах следует подставить знак минус, например:

$$\begin{aligned} & -g \text{ вместо } g \\ & -M_0 \text{ „ } M \text{ и т. п.} \end{aligned}$$

При нулевых значениях величин некоторых нагрузок формулы остаются справедливыми, соответственным образом упрощаясь.

Для основных* размеров и коэффициентов:

l — половина длины участка балки,

a , b и c — составляющие части длины балки,

x — абсцисса рассматриваемого сечения балки,

h — высота балки,

d — ширина балки, измеряемая перпендикулярно к плоскости чертежа.

$I = \frac{dh^3}{12}$ — момент инерции сечения балки относительно нейтральной линии,

E — модуль упругости материала балки,

k — коэффициент оседания основания балки,

$m = \sqrt[4]{\frac{k d}{4 E I}}$ — коэффициент измерителя жесткости балки,

$\lambda = l \cdot m$ — измеритель жесткости балки,

$$\alpha = a \cdot m, \quad \beta = b \cdot m, \quad \gamma = c \cdot m, \quad \xi = l_2 \cdot m_1.$$

В формулах главы IV приняты следующие подстановки:

$$\left. \begin{aligned} C_\varphi &= \cosh \varphi \cos \varphi, \\ C'_\varphi &= \sinh \varphi \cos \varphi - \cosh \varphi \sin \varphi, \\ C''_\varphi &= -2 \sinh \varphi \sin \varphi, \\ C'''_\varphi &= -2(\sinh \varphi \cos \varphi + \cosh \varphi \sin \varphi). \end{aligned} \right\} \quad [1]$$

$$\left. \begin{aligned} N &= \cosh 4\lambda + \cos 4\lambda - 2, \\ U &= \frac{\sinh 4\lambda - \sin 4\lambda}{N}, \\ V &= \frac{\cosh 4\lambda - \cos 4\lambda}{N}, \\ W &= \frac{\sinh 4\lambda + \sin 4\lambda}{N}. \end{aligned} \right\} \quad [2]$$

$$\left. \begin{aligned} H &= U_1 + U_2 \frac{m_1}{m_2}, \\ L &= V_1 - V_2 \frac{m_1^2}{m_2^2}, \\ q &= W_1 + W_2 \frac{m_1^3}{m_2^3}. \end{aligned} \right\} \quad [3]$$

$$\left. \begin{aligned} R &= 2U + \frac{4C'_{2\lambda}}{N}, \\ S &= -2V - \frac{4C''_{2\lambda}}{N}, \\ T &= 4W + \frac{4C'''_{2\lambda}}{N}. \end{aligned} \right\} \quad [4]$$

$$\left. \begin{aligned} r &= C_{\alpha+\beta} - C_{\alpha}, \\ s &= C'_{\alpha+\beta} - C'_{\alpha}, \\ t &= C''_{\alpha+\beta} - C''_{\alpha}, \\ q &= C'''_{\alpha+\beta} - C'''_{\alpha}. \end{aligned} \right\} \quad [5]$$

$$\left. \begin{aligned} r^* &= C_{\gamma+\beta} - C_{\gamma}, \\ s^* &= C'_{\gamma+\beta} - C'_{\gamma}, \\ t^* &= C''_{\gamma+\beta} - C''_{\gamma}, \\ q^* &= C'''_{\gamma+\beta} - C'''_{\gamma}. \end{aligned} \right\} \quad [6]$$

$$\left. \begin{aligned} r^{**} &= C_{2\lambda-\alpha} - C_{2\lambda-(\alpha+\beta)}, \\ s^{**} &= C'_{2\lambda-\alpha} - C'_{2\lambda-(\alpha+\beta)}, \\ t^{**} &= C''_{2\lambda-\alpha} - C''_{2\lambda-(\alpha+\beta)}, \\ q^{**} &= C'''_{2\lambda-\alpha} - C'''_{2\lambda-(\alpha+\beta)}. \end{aligned} \right\} \quad [7]$$

$$\left. \begin{aligned} r^{***} &= C_{2\lambda-\alpha} - C_{\alpha}, \\ t^{***} &= C''_{2\lambda-\alpha} - C''_{\alpha}, \\ q^{***} &= C'''_{2\lambda-\alpha} - C'''_{\alpha}. \end{aligned} \right\} \quad [8]$$

В формулах [1, 2] — $\sinh$ и $\cosh$ — гиперболические синусы и косинусы; $\sin$ и $\cos$ — круговые синусы и косинусы.

Формулы [1] применимы для любых аргументов, полагая φ равным α , β , γ , $\gamma + \beta$, 2λ и т. п.

Значения величин, определяемых формулами [1] и [2], могут быть найдены по прилагаемым таблицам:

для выражений [1] по таблицам § 22 (стр. 321).

" " [2] " " § 24 (стр. 337).

Остальные величины определяются по приведенным здесь формулам, в которых значения $\sin$, $\sinh$, $\cos$ и $\cosh$ находятся по таблице § 21 (стр. 209).

В том случае, если приведенные в формулах величины входят в выражения для определения произвольных постоянных интегрирования A , B , C , D и в величины A_0 и D_0 , то, для получения их с большей точностью, их следует определять по приведенным формулам, пользуясь таблицей § 21 (стр. 298), для определения величин $\sin$, $\sinh$, $\cos$ и $\cosh$.

Так же необходимо поступать в тех случаях, когда численные значения аргументов выходят за пределы приведенных таблиц.

Для контроля правильности произведенных расчетов следует производить проверки, руководствуясь указаниями следующей таблицы (стр. 230), в которой элементам деформации, определяемым по формулам, присвоены индексы, соответствующие рассматриваемым точкам.

С х е м а	Условия, которым должны удовлетворять элементы деформации		
	P	M	Q
Балки, состоящие из двух жестко связанных между собою участков с конечными моментами инерции	$\Sigma p = \Sigma (P, g)$	$M_A = M_D = 0$	$Q_A = Q_D = 0^{1)}$
Балки, состоящие из двух жестко связанных между собою участков с конечными и бесконечно большими моментами инерции	$\Sigma p = \Sigma (P, P_0, g, g_0)$	$M_B = \frac{(2p_A + p_B)l_2^2}{6} + M_0$ $M_C = 0$	$Q_B = \frac{(p_A + p_B)l_2}{2} - P_0^{2)}$ $Q_C = 0$
Балки, состоящие из двух парно связанных между собою участков с конечными и бесконечно большими моментами инерции	$\Sigma p = \Sigma (P, P_0, g, g_0)$	$M_B = \frac{(2p_A + p_B)l_2^2}{6} + M_0 = 0$ $M_C = 0$	$Q_B = \frac{(p_A + p_B)l_2}{2} - P_0^{2)}$ $Q_C = 0$
Балки, состоящие из трех жестко связанных между собою участков с конечными и бесконечно большими моментами инерции	$\Sigma p = \Sigma (P, P_0, g, g_0)$	$M_B = \frac{(2p_A + p_B)l_2^2}{6} + M_0$ $M_B = M'_B$	$Q_B = \frac{(p_A + p_B)l_2}{2} - P_0$ $Q_B = -Q'_B$
Балки, состоящие из трех парно связанных между собою участков с конечными и бесконечно большими моментами инерции	$\Sigma p = \Sigma (P, P_0, g, g_0)$	$M_B = \frac{(2p_A + p_B)l_2^2}{6} + M_0 = 0$ $M_B = M'_B$	$Q_B = \frac{(p_A + p_B)l_2}{2} - P_0$ $Q_B = -Q'_B$

¹⁾ В случае нагрузки балок сосредоточенными силами или моментами на концах—должны быть выполнены условия: M_A (или соответственно M_D) = $|M|$ и Q_A (или соответственно Q_D) = $|P|$.

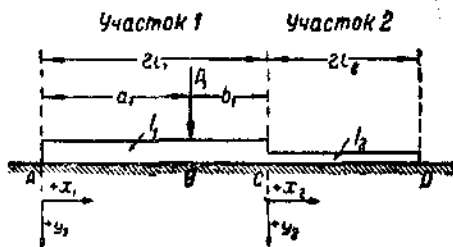
²⁾ В случае нагрузки балок сосредоточенной силой или моментом на правом конце—должны быть выполнены условия: M_C = $|M|$ и Q_C = $|P|$.

§ 18. Балки, состоящие из двух жестко связанных между собою участков с различными конечными величинами моментов инерции ¹⁾.

СХЕМА 116.

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении левого участка балки.

Начало координат для левого участка балки в точке А, для правого в точке С.



Для участков балки АВ и ВС:

P — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 1, полагая в ней $P = P_1$,
 схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,
 схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$tg \nu$ — то же,
 M — то же,
 Q — то же.

¹⁾ Формулы § 18 предназначены для расчета фундаментов, состоящих из двух участков различной жесткости.

Для участка балки CD :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

$$Q_c = \frac{P_1(A_0 q - 2D_0 L)}{L^2 - 2qH},$$

$$M_c = \frac{P_1(A_0 L - 4D_0 H)}{2m_1(L^2 - 2qH)},$$

где

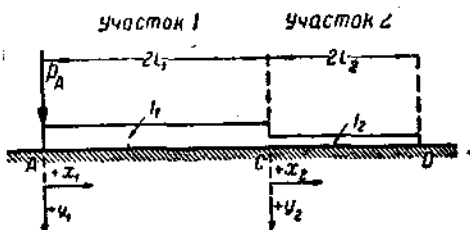
$$A_0 = 2U_1 C_{\beta 1} - C'_{\beta 1} + \frac{1}{2} V_1 C''_{\beta 1},$$

$$D_0 = \frac{1}{2} V_1 C_{\beta 1} - \frac{1}{4} C''_{\beta 1} + \frac{1}{4} W_1 C'''_{\beta 1}.$$

СХЕМА 117.

Сосредоточенная сила приложена на левом конце балки.

Начало координат для левого участка балки в точке А; для правого в точке С.



Для участка балки AC:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 2, полагая в ней $P = P_A$,

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,

схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$\text{tg } \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки CD:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\text{tg } \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

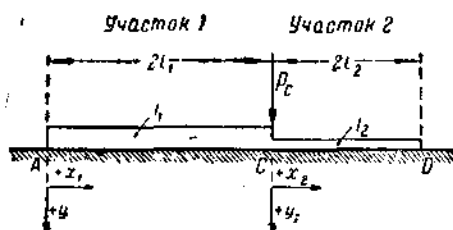
$$Q_c = \frac{2P_A(2C'_{2\lambda_1}q - C''_{2\lambda_1}L)}{N_1(L^2 - 2qH)},$$

$$M_c = \frac{2P_A(C'_{2\lambda_1}L - C''_{2\lambda_1}H)}{m_1N_1(L^2 - 2qH)}.$$

СХЕМА 118.

Сосредоточенная сила приложена в сечении изменения момента инерции балки.

Начало координат для левого участка балки в точке А, для правого в точке С.



Для участка балки AC:

P — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 3, полагая в ней $P = P_c + Q_c$,
схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки CD:

P — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,
схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

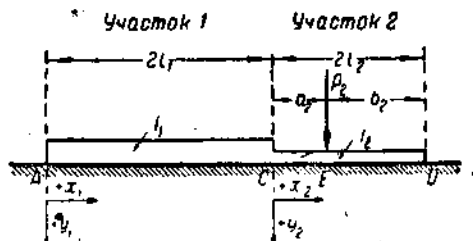
Q — то же.

$$Q_c = \frac{P_c(2U_1 q - V_1 L)}{L^3 - 2qH},$$

$$M_c = \frac{P_c(U_1 L - V_1 H)}{m_1(L^3 - 2qH)},$$

Сосредоточенная сила приложена в любом сечении правого участка балки.

Начало координат для левого участка в точке A , для правого в точке C .



Для участка балки AC :

P — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,
схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$tg\psi$ — то же,
 M — то же,
 Q — то же.

Для участков балки CE и ED :

P — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 1, полагая в ней $P = P_2$,
схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,
схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$tg\psi$ — то же,
 M — то же,
 Q — то же.

$$Q_c = - \frac{P_2 m_2 \left(A_0 q + 2D_0 \frac{m_2}{m_1} L \right)}{m_1 (L^2 - 2qH)},$$

$$M_c = - \frac{P_2 m_2 \left(A_0 L + 4D_0 \frac{m_2}{m_1} H \right)}{2m_1^2 (L^2 - 2qH)},$$

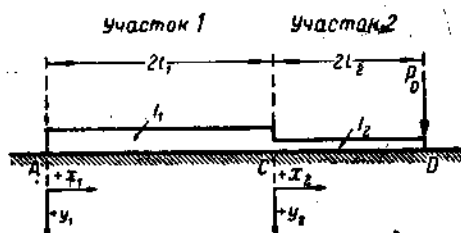
где

$$A_0 = 2U_1 C_{\alpha_2} - C'_{\alpha_2} + \frac{1}{2} V_2 C'''_{\alpha_2},$$

$$D_0 = \frac{1}{2} V_2 C_{\alpha_2} - \frac{1}{4} C'_{\alpha_2} + \frac{1}{4} W_2 C'''_{\alpha_2}.$$

Сосредоточенная сила приложена на правом конце балки.

Начало координат для левого участка балки в точке А, для правого в точке С.



Для участка балки AC:

P — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,

схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки CD:

P — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 3, полагая в ней $P = P_D$,

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же;

M — то же;

Q — то же.

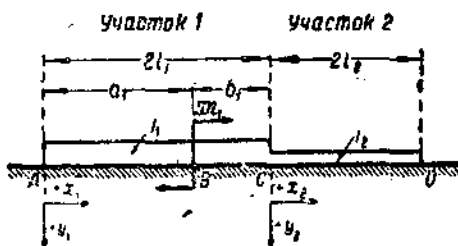
$$Q_c = - \frac{2P_D m_2 \left(2C_{2\lambda_2} q + C'_{2\lambda_2} \frac{m_2}{m_1} L \right)}{N_2 m_1 (L^2 - 2qH)},$$

$$M_c = - \frac{2P_D m_2 \left(C_{2\lambda_2} L + \frac{m_2}{m_1} C'_{2\lambda_2} H \right)}{N_2 m_1^2 (L^2 - 2qH)}.$$

СХЕМА 121.

Момент приложен в любом сечении левого участка балки.

Начало координат для левого участка балки в точке А, для правого в точке С.



Для участков балки АВ и ВС:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 7, полагая в ней $M = -M_1$,

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,

схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$tg \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки CD:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$tg \nu$ — то же;

M — то же;

Q — то же.

$$Q_c = \frac{M_1 m_1 (A_0 q - 2D_0 L)}{L^2 - 2qH},$$

$$M_c = \frac{M_1 (A_0 L - 4D_0 H)}{2(L^2 - 2qH)},$$

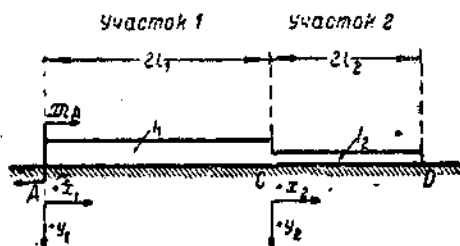
где

$$A_0 = 2V_1 C_{\beta_1} - 2U_1 C'_{\beta_1} + C''_{\beta_1},$$

$$D_0 = W_1 C_{\beta_1} - \frac{1}{2} V_1 C'_{\beta_1} + \frac{1}{4} C''_{\beta_1}.$$

Момент приложен на левом конце балки.

Начало координат для левого участка балки в точке А, для правого в точке С.



Для участка балки AC:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 8, полагая в ней $M = M_A$,

схемы 3, полагая в ней $P = Q_C$,

схемы 9, полагая в ней $M = M_C$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки CD:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_C$,

схемы 8, полагая в ней $M = M_C$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

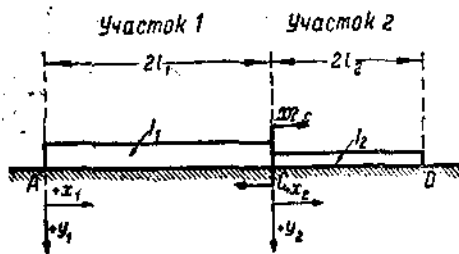
$$Q_C = \frac{2M_A m_1 (-2C_{2\lambda_1}'' q + C_{2\lambda_1}''' L)}{N_1(L^3 - 2qH)},$$

$$M_C = \frac{2M_A (-C_{2\lambda_1}'' L + C_{2\lambda_1}''' H)}{N_1(L^3 - 2qH)}.$$

СХЕМА 123.

Момент приложен в сечении изменения момента инерции балки.

Начало координат для левого участка балки в точке А, для правого в точке С.



Для участка балки AC:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 9, полагая в ней $M = -M_c + M_c$,

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки CD:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

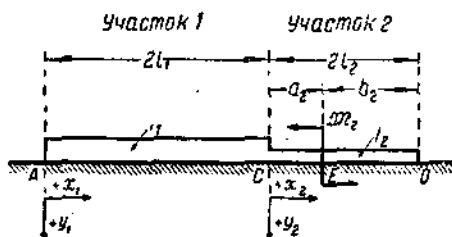
Q — то же.

$$Q_c = \frac{2M_c m_1 (V_1 q - W_1 L)}{L^2 - 2qH},$$

$$M_c = \frac{M_c (V_1 L - 2W_1 H)}{L^2 - 2qH}.$$

Момент приложен в любом сечении правого участка балки.

Начало координат для левого участка балки в точке А, для правого в точке С.



Для участка балки AC:

P — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,
схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участков балки CE и ED:

P — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 7, полагая в ней $M = M_c$,
схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,
схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

$$Q_c = - \frac{m_2 m_1^2 \left(A_0 q + 2D_0 \frac{m_2}{m_1} L \right)}{m_1 (L^2 - 2qH)},$$

$$M_c = - \frac{m_2 m_1^2 \left(A_0 L + 4D_0 \frac{m_2}{m_1} H \right)}{2m_1^2 (L^2 - 2qH)},$$

где

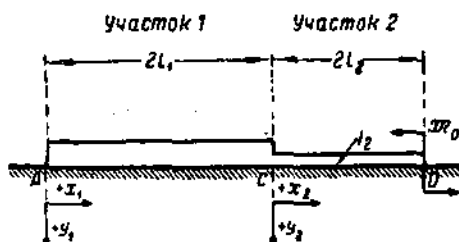
$$A_0 = 2V_1 C_{\alpha_1} - 2U_1 C'_{\alpha_1} + C''_{\alpha_1},$$

$$D_0 = W_1 C_{\alpha_1} - \frac{1}{2} V_1 C'_{\alpha_1} + \frac{1}{4} C''_{\alpha_1}.$$

СХЕМА 125.

Момент приложен в правом конце балки.

Начало координат для левого участка балки в точке А, для правого в точке С.



Для участка балки AC:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,

схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$\text{tg } \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки CD:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 9, полагая в ней $M = M_D$,

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\text{tg } \nu$ — то же,

M — то же,

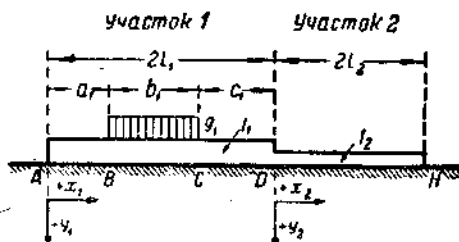
Q — то же.

$$Q_c = - \frac{2M_D m_1^2 \left(-2C'_{2\lambda_2} q - C'''_{2\lambda_2} \frac{m_2}{m_1} L \right)}{N_2 m_1 (L^2 - 2qH)},$$

$$M_c = - \frac{2M_D m_2^2 \left(-C'_{2\lambda_2} L - C'''_{2\lambda_2} \frac{m_2}{m_1} H \right)}{N_2 m_1^2 (L^2 - 2qH)}.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на любом протяжении левого участка балки.

Начало координат для левого участка балки в точке A , для правого в точке D .



Для участков балки AB , BC и CD :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 15, полагая в ней $g = g_1$,

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,

схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки DH :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

$$Q_c = \frac{g_1 d (A_0 q - 2D_0 L)}{m_1 (L^2 - 2qH)},$$

$$M_c = \frac{g_1 d (A_0 L - 4D_0 H)}{2m_1^2 (L^2 - 2qH)},$$

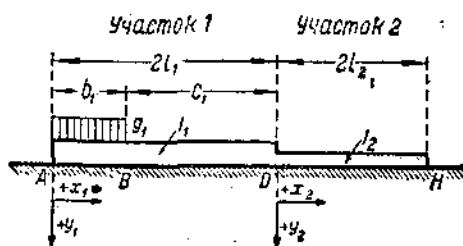
где

$$A_0 = -r_1^* + \frac{1}{2} \dot{V}_1 t_1^* - \frac{1}{2} U_1 q_1^*,$$

$$D_0 = -\frac{1}{4} s_1^* + \frac{1}{4} W_1 t_1^* - \frac{1}{8} V_1 q_1^*.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на левом участке балки, на любом протяжении от левого конца балки.

Начало координат для левого участка балки в точке A , для правого в точке D .



Для участков балки AB и BD :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 16, полагая в ней $g = g_1$,

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,

схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$\text{tg } \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки DH :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\text{tg } \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

$$Q_c = \frac{g_1 d (A_0 q - 2D_0 L)}{m_1 (L^3 - 2qH)},$$

$$M_c = \frac{g_1 d (A_0 L - 4D_0 H)}{2m_1 (L^3 - 2qH)},$$

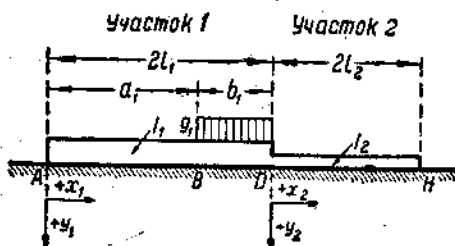
где

$$A_0 = C_{T1} - \frac{1}{2} V_1 C_{T1}' + \frac{1}{2} U_1 C_{T1}''',$$

$$D_0 = \frac{1}{4} C_{T1}' - \frac{1}{4} W_1 C_{T1}'' + \frac{1}{8} V_1 C_{T1}'''.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на левом участке балки, на любом протяжении от сечения изменения момента инерции.

Начало координат для левого участка балки в точке А, для правого в точке D.



Для участков балки АВ и BD:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 17, полагая в ней $g = g_1$,

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,

схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки DH:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 12, полагая в ней $P = -Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

$$Q_c = \frac{g_1 d [(1 + A_0) q - 2 D_0 L]}{m_1 (L^2 - 2 q H)}$$

$$M_c = \frac{g_1 d [(1 + A_0) L - 4 D_0 H]}{2 m_1^2 (L^2 - 2 q H)},$$

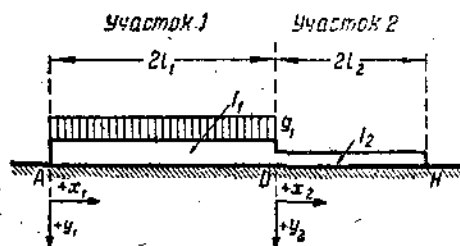
где

$$A_0 = -C_{\beta_1} + \frac{1}{2} V_1 C_{\beta_1}'' - \frac{1}{2} U_1 C_{\beta_1}''',$$

$$D_0 = -\frac{1}{4} C_{\beta_1}' + \frac{1}{4} W_1 C_{\beta_1}'' - \frac{1}{8} V_1 C_{\beta_1}'''.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем протяжении левого участка балки.

Начало координат для левого участка балки в точке A , для правого в точке D .



Для участка балки AD :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 20, полагая в ней $g = g_1$,
 схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,
 схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,
 M — то же,
 Q — то же.

Для участка балки DH :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,
 схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,
 M — то же,
 Q — то же.

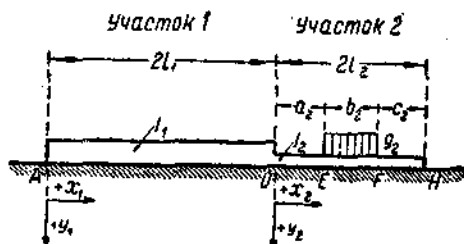
$$Q_c = \frac{g_1 d q}{m_1 (L^2 - 2 q H)}$$

$$M_c = \frac{g_1 d L}{2 m_1 (L^2 - 2 q H)}$$

СХЕМА 130.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на любом протяжении правого участка балки.

Начало координат для левого участка балки в точке A , для правого в точке D .



Для участка балки AD :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,
схемы 9, полагая в ней $\mathfrak{M} = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,
 M — то же,
 Q — то же.

Для участков балки DE , EF и FH :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 15, полагая в ней $g = g_2$,
схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,
схемы 8, полагая в ней $\mathfrak{M} = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,
 M — то же,
 Q — то же.

$$Q_c = - \frac{g_2 d \left(A_0 q + 2D_0 \frac{m_2}{m_1} L \right)}{m_1 (L^2 - 2qH)},$$

$$M_c = - \frac{g_2 d \left(A_0 L + 4D_0 \frac{m_2}{m_1} H \right)}{2m_1^2 (L^2 - 2qH)},$$

где

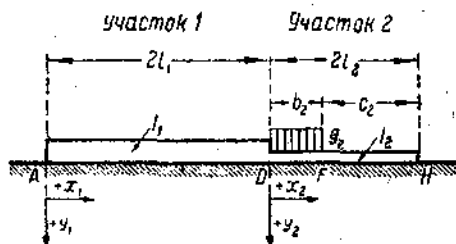
$$A_0 = -r_2 + \frac{1}{2} V_2 t_2 - \frac{1}{2} U_2 q_2,$$

$$D_0 = -\frac{1}{4} s_2 + \frac{1}{4} W_2 t_2 - \frac{1}{8} V_2 q_2.$$

СХЕМА 131.

Равномерно распределенная нагрузка расположена на правом участке балки, на любом протяжении от сечения изменения момента инерции.

Начало координат для левого участка балки в точке A , для правого в точке D .



Для участка балки AD :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,

схемы 9, полагая в ней $\mathcal{M} = M_c$;

$\text{tg } \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участков балки DF и FH :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 16, полагая в ней $g = g_2$,

схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $\mathcal{M} = M_c$;

$\text{tg } \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

$$Q_c = - \frac{g_2 d \left(A_0 q + 2D_0 \frac{m_2}{m_1} L \right)}{m_1 (L^2 - 2qH)},$$

$$M_c = - \frac{g_2 d \left(A_0 L + 4D_0 \frac{m_2}{m_1} H \right)}{2m_1^2 (L^2 - 2qH)},$$

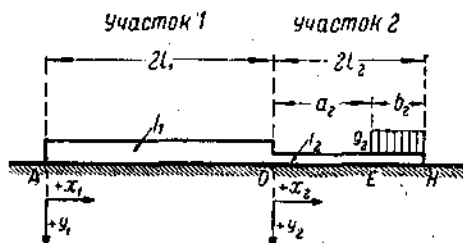
где

$$A_0 = -C_{\beta_s} + \frac{1}{2} V_2 C_{\beta_s}'' - \frac{1}{2} U_2 C_{\beta_s}''',$$

$$D_0 = -\frac{1}{4} C_{\beta_s}' + \frac{1}{4} W_2 C_{\beta_s}'' - \frac{1}{8} C_{\beta_s}'''.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на правом участке балки, на любом протяжении от правого конца балки.

Начало координат для левого участка балки в точке А, для правого в точке D.



Для участка балки AD:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 3, полагая в ней $P=Q_c$,

схемы 9, полагая в ней $M=M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участков балки DE и EH:

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 17, полагая в ней $g=g_2$,

схемы 2, полагая в ней $P=-Q_c$,

схемы 8, полагая в ней $M=M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

$$Q_c = - \frac{g_2 d \left(A_0 q + 2 D_0 \frac{m_2}{m_1} L \right)}{m_1 (L^2 - 2 q H)},$$

$$M_c = - \frac{g_2 d \left(A_0 L + 4 D_0 \frac{m_2}{m_1} H \right)}{2 m_1^2 (L^2 - 2 q H)},$$

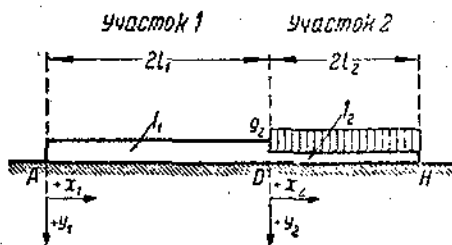
где

$$A_0 = C_{\alpha_2} - \frac{1}{2} V_2 C_{\alpha_2}'' + \frac{1}{2} U_2 C_{\alpha_2}''',$$

$$D_0 = \frac{1}{4} C_{\alpha_2} - \frac{1}{4} W_2 C_{\alpha_2}'' + \frac{1}{8} V_2 C_{\alpha_2}'''.$$

Равномерно распределенная нагрузка расположена на всем протяжении правого участка балки.

Начало координат для левого участка балки в точке A , для правого в точке D .



Для участка балки AD :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,
схемы 9, полагая в ней $M = M_c$;

$\text{tg } \nu$ — то же,
 M — то же,
 Q — то же.

Для участка балки DH :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 20, полагая в ней $g = g_2$,
схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,
схемы 8, полагая в ней $M = M_c$;

$\text{tg } \nu$ — то же,
 M — то же,
 Q — то же.

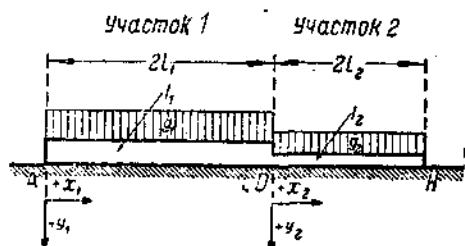
$$Q_c = - \frac{g_2 d q}{m_1 (L^2 - 2 q H)},$$

$$M_c = - \frac{g_2 d L}{2 m_1^2 (L^2 - 2 q H)}.$$

СХЕМА 134.

Равномерно распределенные нагрузки различной величины расположены на всем протяжении обоих участков балки.

Начало координат для левого участка балки в точке A , для правого в точке D .



Для участка балки AD :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 20, полагая в ней $g = g_1$,
 схемы 3, полагая в ней $P = Q_c$,
 схемы 9, полагая в ней $\mathcal{M} = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки DH :

p — определяется суммированием соответствующих величин, взятых по формулам:

схемы 20, полагая в ней $g = g_2$,
 схемы 2, полагая в ней $P = -Q_c$,
 схемы 8, полагая в ней $\mathcal{M} = M_c$;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же,

M — то же,

Q — то же.

$$Q_c = \frac{(g_1 - g_2) dq}{m_1 (L^2 - 2qH)},$$

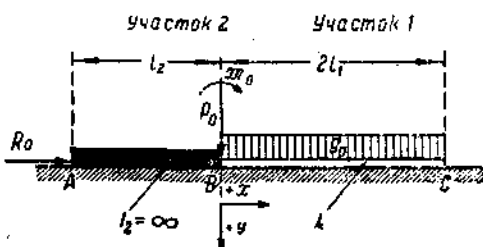
$$M_c = \frac{(g_1 - g_2) dL}{2 m_1 (L^2 - 2qH)}.$$

§ 19. Балки, состоящие из двух или трех жестко связанных между собою участков с конечными и бесконечно большими величинами моментов инерции.

СХЕМА 135¹⁾.

Балка, состоящая из двух участков, из коих правый имеет конечный, а левый бесконечно большой момент инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении правого участка и любыми нагрузками на левом участке, приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моменту M_0 в сечении изменения момента инерции балки.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = \frac{g_0 \left(1 - \xi^2 V_1 - \frac{2}{3} \xi^2 W_1 \right) + \frac{P_0 m_1}{d} \left(2 U_1 + 2 \xi V_1 - \frac{4}{3} \xi^2 U_1 W_1 + \frac{2}{3} \xi^2 V_1^2 \right) + \frac{M_0 m_1^2}{d} \left(-2 V_1 - 4 \xi W_1 - 4 \xi^2 U_1 W_1 + 2 \xi^2 V_1^2 \right)}{1 + 2 \xi U_1 + 2 \xi^2 V_1 + \frac{4}{3} \xi^2 W_1 - \frac{1}{3} \xi^4 V_1^2 + \frac{2}{3} \xi^4 U_1 W_1},$$

$$p_B = \frac{g_0 \left(1 + \xi^2 V_1 + \frac{4}{3} \xi^2 W_1 \right) + \frac{P_0 m_1}{d} \left(2 U_1 + \frac{8}{3} \xi^2 U_1 W_1 - \frac{4}{3} \xi^2 V_1^2 \right) + \frac{M_0 m_1^2}{d} \left(-2 V_1 + 4 \xi^2 U_1 W_1 - 2 \xi^2 V_1^2 \right)}{1 + 2 \xi U_1 + 2 \xi^2 V_1 + \frac{4}{3} \xi^2 W_1 - \frac{1}{3} \xi^4 V_1^2 + \frac{2}{3} \xi^4 U_1 W_1};$$

¹⁾ Например стенка с консольным выступом фундамента, плотина с жестко связанной с нею понурной плитой и т. п.

$\operatorname{tg} \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BC :

$$p = g_0 + k(AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}' + CC_{\varphi}'' + DC_{\varphi}'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -m_1(AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}' + CC_{\varphi}'' - 4DC_{\varphi}'),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}'' - \frac{1}{4} BC_{\varphi}''' - CC_{\varphi}' - DC_{\varphi}' \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}''' - BC_{\varphi}'' - CC_{\varphi}' - DC_{\varphi}'' \right),$$

где

$$A = \frac{p_B - g_0}{k},$$

$$B = \frac{(p_A + p_B)\xi - 2\frac{p_0 m_1}{d}}{2k},$$

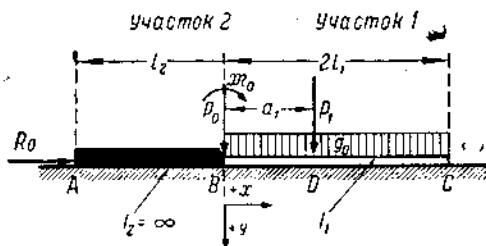
$$C = \frac{(2p_A + p_B)\xi^2 + 6m_0 \frac{m_1^2}{d}}{6k},$$

$$D = \frac{p_A - p_B}{4\xi k}.$$

СХЕМА 136.

Балка, состоящая из двух участков, из коих правый имеет конечный, а левый бесконечно большой момент инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении правого участка, сосредоточенной силой P_1 , приложенной в любом сечении того же участка, и любыми нагрузками на левом участке, приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моменту M_0 в сечении изменения момента инерции балки.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем p_A и p_B определяются суммированием этих величин, взятых по формулам схемы 135 и соответственно величин:

$$\begin{aligned} \text{для } p_A &+ \frac{P_1 m_1}{d} \left[A_0 \left(1 - \xi^2 V_1 - \frac{2}{3} \xi^2 W_1 \right) + 4 \xi D_0 \left(1 + \xi U_1 + \frac{1}{3} \xi^2 V_1 \right) \right] \\ &+ \frac{P_1 m_1}{d} \left[A_0 \left(1 + \xi^2 V_1 + \frac{4}{3} \xi^2 W_1 \right) + 4 \xi D_0 \left(-\xi U_1 - \frac{2}{3} \xi^2 V_1 \right) \right] \\ \text{для } p_B &+ \frac{P_1 m_1}{d} \left[A_0 \left(1 + \xi^2 V_1 + \frac{4}{3} \xi^2 W_1 \right) + 4 \xi D_0 \left(-\xi U_1 - \frac{2}{3} \xi^2 V_1 \right) \right] \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_0 &= 2 U_1 C_{\alpha_1} + \frac{1}{2} V_1 C_{\alpha_1}''' - C_{\alpha_1}', \\ D_0 &= \frac{1}{2} V_1 C_{\alpha_1} + \frac{1}{4} W_1 C_{\alpha_1}''' - \frac{1}{4} C_{\alpha_1}''; \end{aligned}$$

$\operatorname{tg} \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BD :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi + D_1 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi - 4D_1 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi - D_1 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{p_B - g_0}{k}, \\ B_1 &= \frac{(p_A + p_B) \xi - 2P_0 \frac{m_1}{d}}{2k}, \\ C_1 &= \frac{(2p_A + p_B) \xi^2 + 6M_0 \frac{m_1^2}{d}}{6k}, \\ D_1 &= \frac{p_A - p_B}{4\xi k}. \end{aligned}$$

Для участка балки DC :

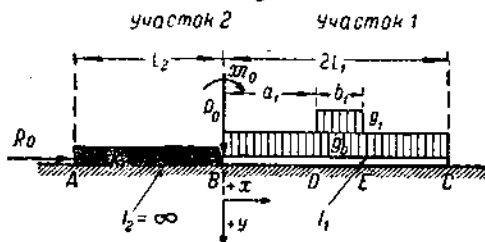
$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 + \frac{Pm_1}{kd} C_{\alpha_1}, \\ B_2 &= B_1 - \frac{Pm_1}{kd} C_{\alpha_1}, \\ C_2 &= C_1 - \frac{Fm_1}{kd} \frac{1}{4} C_{\alpha_1}, \\ D_2 &= D_1 + \frac{Pm_1}{kd} \frac{1}{4} C_{\alpha_1}. \end{aligned}$$

Балка, состоящая из двух участков, из коих правый имеет конечный, а левый бесконечно большой момент инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении правого участка с дополнительной равномерно распределенной нагрузкой g_1 на любом протяжении того же участка и любыми нагрузками на левом участке, приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моменту M_0 в сечении изменения момента инерции балки.

Начало координат в точке B.



Для участка балки AB:

p — изменяется по линейному закону, причем p_A и p_B определяются суммированием этих величин, взятых по формулам схемы 135 и соответственно величин:

$$\begin{aligned} \text{для } p_A &+ \frac{g_1 \left[A_0 \left(1 - \xi^2 V_1 - \frac{2}{3} \xi^3 W_1 \right) + 4 \xi D_0 \left(1 + \xi U_1 + \frac{1}{3} \xi^2 V_1 \right) \right]}{1 + 2 \xi U_1 + 2 \xi^2 V_1 + \frac{4}{3} \xi^3 W_1 - \frac{1}{3} \xi^4 V_1^2 + \frac{2}{3} \xi^4 W_1}, \\ \text{для } p_B &+ \frac{g_1 \left[A_0 \left(1 + \xi^2 V_1 + \frac{4}{3} \xi^3 W_1 \right) + 4 \xi D_0 \left(-\xi U_1 - \frac{2}{3} \xi^2 V_1 \right) \right]}{1 + 2 \xi U_1 + 2 \xi^2 V_1 + \frac{4}{3} \xi^3 W_1 - \frac{1}{3} \xi^4 V_1^2 + \frac{2}{3} \xi^4 W_1}, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_0 &= -r_1 + \frac{1}{2} V_1 t_1 - \frac{1}{2} U_1 q_1, \\ D_0 &= -\frac{1}{4} s_1 + \frac{1}{4} W_1 t_1 - \frac{1}{8} V_1 q_1; \end{aligned}$$

$\text{tg } \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BD:

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi + D_1 C'''_\varphi), \\ \text{tg } \nu &= -m_1(A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi - 4 D_1 C_\varphi), \end{aligned}$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - C_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - B_1 C_\varphi - C_1 C_\varphi' - D_1 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_1 = \frac{p_B - g_0}{k},$$

$$B_1 = \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 P_0 \frac{m_1}{d}}{2k},$$

$$C_1 = \frac{(2p_A + p_B) \xi^2 + 6 M_0 \frac{m_1^2}{d}}{6k},$$

$$D_1 = \frac{p_A - p_B}{4 \xi k}.$$

Для участка балки DE:

$$p = g_0 + g_1 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -m_1 (A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4 D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_2 = A_1 - \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1},$$

$$B_2 = B_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}''',$$

$$C_2 = C_1 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}'',$$

$$D_2 = D_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}'.$$

Для участка балки EC:

$$p = g_0 + k(A_3 C_\varphi + B_3 C_\varphi' + C_3 C_\varphi'' + D_3 C_\varphi'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -m_2 (A_3 C_\varphi' + B_3 C_\varphi'' + C_3 C_\varphi''' - 4 D_3 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_3 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_3 C_\varphi''' - C_3 C_\varphi - D_3 C_\varphi' \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_3 C_\varphi''' - B_3 C_\varphi - C_3 C_\varphi' - D_3 C_\varphi'' \right),$$

где

$$A_3 = A_2 + \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1 + \beta_1},$$

$$B_3 = B_2 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1 + \beta_1}''',$$

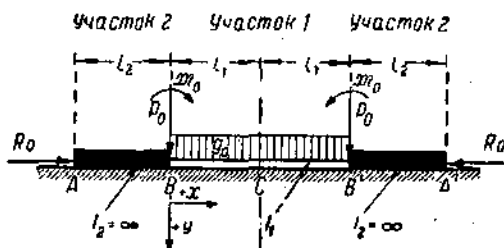
$$C_3 = C_2 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1 + \beta_1}'',$$

$$D_3 = D_2 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1 + \beta_1}'.$$

СХЕМА 138.1)

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайних бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях изменения моментов инерции балки.

Начало координат в точке В.



Для участка балки АВ:

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = \frac{g_0 \left(1 + \xi \frac{S_1}{2} - \xi \frac{T_1}{6} \right) + \frac{P_0 m_1}{d} \left(R_1 - \xi S_1 - \xi \frac{R_1 T_1}{6} + \xi \frac{S_1^2}{6} \right) + \frac{M_0 m_1^2}{d} \left(S_1 - \xi T_1 - \xi \frac{R_1 T_1}{2} + \xi \frac{S_1^2}{2} \right)}{1 + \xi R_1 - \xi S_1 + \xi \frac{T_1}{3} - \xi \frac{S_1^2}{12} + \xi \frac{R_1 T_1}{12}}$$

$$p_B = \frac{g_0 \left(1 - \xi \frac{S_1}{2} + \xi \frac{T_1}{3} \right) + \frac{P_0 m_1}{d} \left(R_1 + \xi \frac{R_1 T_1}{3} - \xi \frac{S_1^2}{3} \right) + \frac{M_0 m_1^2}{d} \left(S_1 + \xi \frac{R_1 T_1}{2} - \xi \frac{S_1^2}{2} \right)}{1 + \xi R_1 - \xi S_1 + \xi \frac{T_1}{3} - \xi \frac{S_1^2}{12} + \xi \frac{R_1 T_1}{12}}$$

1) Например шлюз со сплошным днищем.

$\operatorname{tg} \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BC :

$$p = g_0 + k(AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}' + CC_{\varphi}'' + DC_{\varphi}'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -m_1(AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}'' + CC_{\varphi}''' - 4DC_{\varphi}''),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}'' + \frac{1}{4} BC_{\varphi}''' - CC_{\varphi}' - DC_{\varphi}'' \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}''' - BC_{\varphi}'' - CC_{\varphi}' - DC_{\varphi}'' \right),$$

где

$$A = \frac{p_B - g_0}{k},$$

$$B = \frac{(p_A + p_B)\xi - 2P_0 \frac{m_1^2}{d}}{2k},$$

$$C = \frac{(2p_A + p_B)\xi^2 + 6M_0 \frac{m_1^2}{d}}{6k},$$

$$D = \frac{p_A - p_B}{4\xi k}.$$

Для участков балки $A'B'$ и $B'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB и BC ,

$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

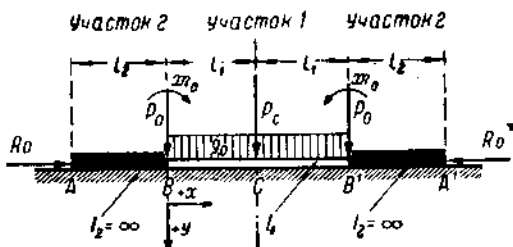
M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

СХЕМА 139¹⁾.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка, сосредоточенной силой P_c в середине того же участка и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях изменения моментов инерции балки.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем p_A и p_B определяются суммированием этих величин, взятых по формулам схемы 138 и соответственно величин:

$$\begin{aligned} \text{для } p_A &+ \frac{P_c \frac{m_1}{d} \left[A_0 \left(1 + \frac{\xi^2 S_1}{2} - \frac{\xi^2 T_1}{6} \right) + 4 \xi D_0 \left(1 + \frac{\xi R_1}{2} - \frac{\xi^2 S_1}{6} \right) \right]}{1 + \xi R_1 - \xi^2 S_1 + \frac{\xi^2 T_1}{3} - \frac{\xi^4 S_1^2}{12} + \frac{\xi^4 R_1 T_1}{12}}, \\ \text{для } p_B &+ \frac{P_c \frac{m_1}{d} \left[A_0 \left(1 - \frac{\xi^2 S_1}{2} + \frac{\xi^2 T_1}{3} \right) + 4 \xi D_0 \left(-\frac{\xi R_1}{2} + \frac{\xi^2 S_1}{3} \right) \right]}{1 + \xi R_1 - \xi^2 S_1 + \frac{\xi^2 T_1}{3} - \frac{\xi^4 S_1^2}{12} + \frac{\xi^4 R_1 T_1}{12}}, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_0 &= 2 U_1 C_{\lambda_1} + \frac{1}{2} V_1 C_{\lambda_1}'' - C_{\lambda_1}', \\ D_0 &= \frac{1}{2} V_1 C_{\lambda_1} + \frac{1}{4} W_1 C_{\lambda_1}'' - \frac{1}{4} C_{\lambda_1}''; \end{aligned}$$

¹⁾ Например док с одним судном.

$\operatorname{tg} \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BC :

$$p = g_0 + k(AC_{\varphi} + BC'_{\varphi} + CC''_{\varphi} + DC'''_{\varphi}),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -m_1(AC'_{\varphi} + BC''_{\varphi} + CC'''_{\varphi} - 4DC_{\varphi}),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} AC''_{\varphi} + \frac{1}{4} BC'''_{\varphi} - CC_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - BC_{\varphi} - CC'_{\varphi} - DC''_{\varphi} \right),$$

где

$$A = \frac{p_B - g_0}{k},$$

$$B = \frac{(p_A + p_B)\xi - 2P_0 \frac{m_1}{d}}{2k},$$

$$C = \frac{(2p_A + p_B)\xi^2 + 6m_0 \frac{m_1^2}{d}}{6k},$$

$$D = \frac{p_A - p_B}{4\xi k}.$$

Для участков балки $A'B'$ и $B'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB и BC ,

$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

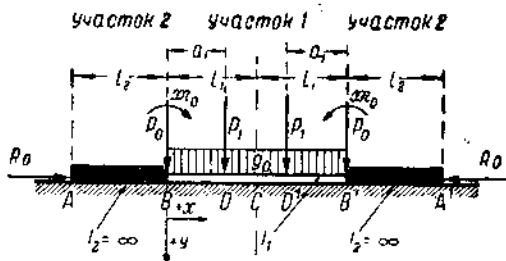
M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

СХЕМА 140¹⁾.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка, двумя симметрично расположенными сосредоточенными силами P_1 на том же участке и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях изменения моментов инерции балки.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем p_A и p_B определяются по формулам для соответствующих величин схемы 139, полагая в них:

$$A_0 = 2U_1(C_{a_1} + C_{2\lambda_1 - a_1}) + \frac{1}{2}V_1(C_{a_1}''' + C_{2\lambda_1 - a_1}''') - (C_{a_1}' + C_{2\lambda_1 - a_1}'),$$

$$D_0 = \frac{1}{2}V_1(C_{a_1} + C_{2\lambda_1 - a_1}) + \frac{1}{4}W_1(C_{a_1}''' + C_{2\lambda_1 - a_1}''') - \frac{1}{4}(C_{a_1}'' + C_{2\lambda_1 - a_1}'');$$

$\text{tg } \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

¹⁾ Например док. с двумя судами.

Для участка балки BD :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi + D_1 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi - 4D_1 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi - D_1 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{p_B - g_0}{k}, \\ B_1 &= \frac{(p_A + p_B)\xi - 2P_0 \frac{m_1}{d}}{2k}, \\ C_1 &= \frac{(2p_A + p_B)\xi^2 + 6m_0 \frac{m_1^2}{d}}{6k}, \\ D_1 &= \frac{p_A - p_B}{4\xi k}. \end{aligned}$$

Для участка балки DC :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 + \frac{P_1 m_1}{kd} C_{a_1}, \\ B_2 &= B_1 - \frac{P_1 m_1}{kd} C_{a_1}, \\ C_2 &= C_1 - \frac{P_1 m_1}{kd} \frac{1}{4} C_{a_1}''', \\ D_2 &= D_1 + \frac{P_1 m_1}{kd} \frac{1}{4} C_{a_1}''. \end{aligned}$$

Для участков балки $A'B'$, $B'D'$ и $D'C'$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB , BD и DC ;

$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

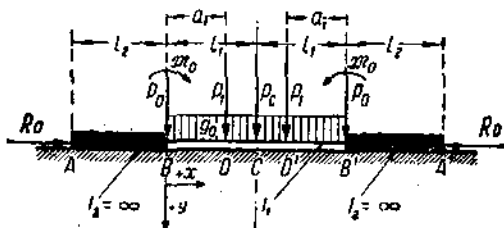
Q — то же, с переменной знака.

СХЕМА 141¹⁾.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка, тремя симметрично расположенными силами P_1 , P_c на том же участке и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях изменения моментов инерции балки.

Начало координат в точке В.

участок 2 участок 1 участок 2



Для участка балки АВ:

p — изменяется по линейному закону, причем p_A и p_B определяются суммированием этих величин, взятых по формулам схемы 138 и соответственно величин:

$$\text{для } p_A \quad + \frac{\frac{P_1 m_1}{d} \left[A_{01} \left(1 + \frac{\xi^2 S_1}{2} - \frac{\xi^2 T_1}{6} \right) + 4 \xi D_{01} \left(1 + \frac{\xi R_1}{2} - \frac{\xi^2 S_1}{6} \right) \right]}{1 + \xi R_1 - \xi^2 S_1 + \frac{\xi^2 T_1}{3} - \frac{\xi^4 S_1^2}{12} + \frac{\xi^4 R_1 T_1}{12}} +$$

$$+ \frac{\frac{P_c m_1}{d} \left[A_{03} \left(1 + \frac{\xi^2 S_1}{2} - \frac{\xi^2 T_1}{6} \right) + 4 \xi D_{03} \left(1 + \frac{\xi R_1}{2} - \frac{\xi^2 S_1}{6} \right) \right]}{1 + \xi R_1 - \xi^2 S_1 + \frac{\xi^2 T_1}{3} - \frac{\xi^4 S_1^2}{12} + \frac{\xi^4 R_1 T_1}{12}},$$

¹⁾ Например док с одним судном на подпорках.

для p_B

$$+ \frac{\frac{P_1 m_1}{d} \left[A_{01} \left(1 - \frac{\xi^2 S_1}{2} + \frac{\xi^2 T_1}{3} \right) + 4 \xi D_{01} \left(-\frac{\xi R_1}{2} + \frac{\xi^2 S_1}{3} \right) \right] +}{1 + \xi R_1 - \xi^2 S_1 + \frac{\xi^3 T_1}{3} - \frac{\xi^4 S_1^2}{12} + \frac{\xi^4 R_1 T_1}{12}} +$$

$$+ \frac{\frac{P_c m_1}{d} \left[A_{02} \left(1 - \frac{\xi^2 S_1}{2} + \frac{\xi^2 T_1}{6} \right) + 4 \xi D_{02} \left(-\frac{\xi R_1}{2} + \frac{\xi^2 S_1}{3} \right) \right] +}{1 + \xi R_1 - \xi^2 S_1 + \frac{\xi^3 T_1}{3} - \frac{\xi^4 S_1^2}{12} + \frac{\xi^4 R_1 T_1}{12}},$$

где

$$A_{01} = 2 U_1 (C_{\alpha_1} + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}) + \frac{1}{2} V_1 (C_{\alpha_1}''' + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}'') - (C_{\alpha_1}' + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}'),$$

$$D_{01} = \frac{1}{2} V_1 (C_{\alpha_1} + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}) + \frac{1}{4} W_1 (C_{\alpha_1}''' + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}'') - \frac{1}{4} (C_{\alpha_1}' + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}'),$$

$$A_{02} = 2 U_1 C_{\lambda_1} + \frac{1}{2} V_1 C_{\lambda_1}''' - C_{\lambda_1}',$$

$$D_{02} = \frac{1}{2} V_1 C_{\lambda_1} + \frac{1}{4} W_1 C_{\lambda_1}''' - \frac{1}{4} C_{\lambda_1}'';$$

$\text{tg } \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BD :

$$p = g_0 + k (A_1 C_{\varphi} + B_1 C_{\varphi}' + C_1 C_{\varphi}'' + D_1 C_{\varphi}'''),$$

$$\text{tg } \nu = -m_1 (A_1 C_{\varphi}' + B_1 C_{\varphi}'' + C_1 C_{\varphi}''' - 4 D_1 C_{\varphi}'),$$

$$M = -\frac{k d}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_{\varphi}'' + \frac{1}{4} B_1 C_{\varphi}''' - C_1 C_{\varphi}' - D_1 C_{\varphi}' \right),$$

$$Q = -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C_{\varphi}''' - B_1 C_{\varphi}' - C_1 C_{\varphi}'' - D_1 C_{\varphi}'' \right),$$

где

$$A_1 = \frac{p_B - g_0}{k},$$

$$B_1 = \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 P_0 \frac{m_1}{d}}{2 k},$$

$$C_1 = \frac{(2 p_A + p_B) \xi^2 + 6 M_0 \frac{m_1^2}{d}}{6 k},$$

$$D_1 = \frac{p_A - p_B}{4 \xi k}.$$

Для участка балки DC :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 + \frac{P_1 m_1}{kd} C'_{\alpha_1}, \\ B_2 &= B_1 - \frac{P_1 m_1}{kd} C_{\alpha_1}, \\ C_2 &= C_1 - \frac{P_1 m_1}{kd} \frac{1}{4} C'''_{\alpha_1}, \\ D_2 &= D_1 + \frac{P_1 m_1}{kd} \frac{1}{4} C''_{\alpha_1}. \end{aligned}$$

Для участков балки $A'B'$, $B'D'$ и $D'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB , BD и DC ,

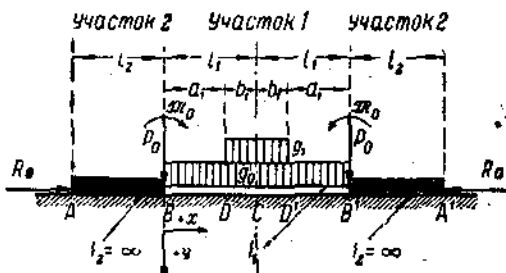
$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка с дополнительной равномерно распределенной нагрузкой g_1 , симметрично расположенной на любом протяжении того же участка и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимым к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях изменения моментов инерции балки.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем p_A и p_B определяются суммированием этих величин, взятых по формулам схемы 138 и соответственно величин:

$$\text{для } p_A \quad + \frac{g_1 \left[A_0 \left(1 + \frac{\xi^2 S_1}{2} - \frac{\xi^3 T_1}{6} \right) + 4 \xi D_0 \left(1 + \frac{\xi R_1}{2} - \frac{\xi^2 S_1}{6} \right) \right]}{1 + \xi R_1 - \xi^2 S_1 + \frac{\xi^3 T_1}{3} - \frac{\xi^4 S_1^2}{12} + \frac{\xi^4 R_1 T_1}{12}},$$

$$\text{для } p_B \quad + \frac{g_1 \left[A_0 \left(1 - \frac{\xi^2 S_1}{2} + \frac{\xi^3 T_1}{3} \right) + 4 \xi D_0 \left(-\frac{\xi R_1}{2} + \frac{\xi^2 S_1}{3} \right) \right]}{1 + \xi R_1 - \xi^2 S_1 + \frac{\xi^3 T_1}{3} - \frac{\xi^4 S_1^2}{12} + \frac{\xi^4 R_1 T_1}{12}},$$

где

$$A_0 = -r_1 + \frac{1}{2} V_1 t_1 - \frac{1}{2} U_1 q_1,$$

$$D_0 = -\frac{1}{4} s_1 + \frac{1}{4} W_1 t_1 - \frac{1}{8} V_1 q_1;$$

$\lg v$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

^а) Например док с судном, устанавливаемым на клетках.

Для участка балки BD :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi + D_1 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi - 4D_1 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi - D_1 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{p_B - g_0}{k}, \\ B_1 &= \frac{(p_A + p_B)\xi - 2P_0 \frac{m_1}{d}}{2k}, \\ C_1 &= \frac{(2p_A + p_B)\xi^2 + 6M_0 \frac{m_1}{d}}{6k}, \\ D_1 &= \frac{p_A - p_B}{4\xi k}. \end{aligned}$$

Для участка балки DC :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + g_1 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 - \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}, \\ B_2 &= B_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'''_{\alpha_1}, \\ C_2 &= C_1 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C''_{\alpha_1}, \\ D_2 &= D_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'_{\alpha_1}. \end{aligned}$$

Для участков балки $A'B'$, $B'D'$ и $D'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB , BD и DC ,

$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

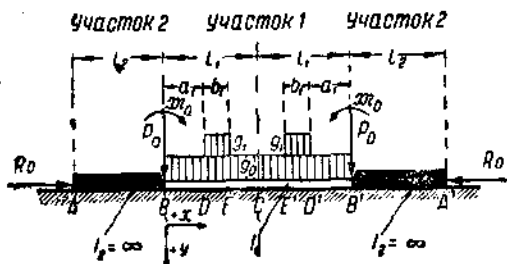
M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

СХЕМА 143.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка с дополнительной равномерно распределенной нагрузкой g_1 , симметрично расположенной в двух местах, на любом протяжении того же участка и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях изменения момента инерции балки.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем p_A и p_B определяются по формулам для соответствующих величин схемы 142, полагая в них:

$$A_0 = -(r_1 + r_1^{**}) + \frac{1}{2} V_1 (t_1 + t_1^{**}) - \frac{1}{2} U_1 (q_1 + q_1^{**}),$$

$$D_0 = -\frac{1}{4} (s_1 + s_1^{**}) + \frac{1}{4} W_1 (t_1 + t_1^{**}) - \frac{1}{8} V_1 (q_1 + q_1^{**});$$

$\text{tg } \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BD :

$$p = g_0 + k(A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + C_1 C''_\varphi + D_1 C'''_\varphi),$$

$$\text{tg } \nu = -m_1(A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi + C_1 C'''_\varphi - 4D_1 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - C_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - C_1 C'_\varphi - D_1 C''_\varphi \right),$$

где

$$A_1 = \frac{p_B - g_0}{k},$$

$$B_1 = \frac{(p_A + p_B)\xi - 2P_0 \frac{m_1}{d}}{2k},$$

$$C_1 = \frac{(2p_A + p_B)\xi^2 + 6M_0 \frac{m_1^2}{d}}{6k},$$

$$D_1 = \frac{p_A - p_B}{4\xi k}.$$

Для участка балки DE :

$$p = g_0 + g_1 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi),$$

$$\text{tg } \nu = -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right),$$

где

$$A_2 = A_1 - \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1},$$

$$B_2 = B_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'''_{\alpha_1},$$

$$C_2 = C_1 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C''_{\alpha_1},$$

$$D_2 = D_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'_{\alpha_1}.$$

Для участка балки EC :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 + \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1 + \beta_1}, \\ B_2 &= B_1 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'''_{\alpha_1 + \beta_1}, \\ C_2 &= C_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C''_{\alpha_1 + \beta_1}, \\ D_2 &= D_1 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'_{\alpha_1 + \beta_1}. \end{aligned}$$

Для участков балки $A'B'$, $B'D'$, $D'E'$ и $E'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB , BC , DE и EC ,

$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

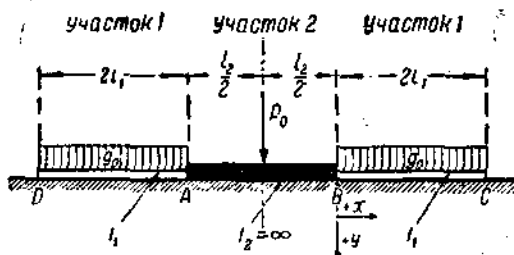
M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

СХЕМА 144¹⁾.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет бесконечно большой, а крайние конечные моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении крайних участков и любыми нагрузками на среднем участке, симметрично расположенными относительно середины этого участка и приводимыми к сосредоточенной силе P_0 в том же сечении.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = p_B = \frac{g_0 Y + \frac{P_0 m_1}{d} Z}{Y + \xi Z},$$

где

$$Y = W_1 \left(-\frac{1}{2} - U_1 \xi - V_1 \xi^2 - \frac{2}{3} W_1 \xi^3 + \frac{1}{6} V_1^2 \xi^4 - \frac{1}{3} U_1 W_1 \xi^4 \right),$$

$$Z = U_1 W_1 \left(-\frac{1}{2} - U_1 \xi - V_1 \xi^2 - \frac{2}{3} W_1 \xi^3 - \frac{1}{3} U_1 W_1 \xi^4 \right) +$$

$$+ V_1^2 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{2} U_1 \xi + \frac{1}{2} V_1 \xi^2 + \frac{1}{3} W_1 \xi^3 + \frac{1}{3} U_1 W_1 \xi^4 - \frac{1}{12} V_1^2 \xi^4 \right);$$

$\text{tg } \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания. (В рассматриваемой схеме $\text{tg } \nu = 0$.)

M — то же,

Q — то же.

¹⁾ Например колонна с фундаментными консолями и т. п.

Для участка балки AD :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC :

$$p = g_0 + k(AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}' + CC_{\varphi}''),$$

$$\text{tg } \nu = -m_1(AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}'' + CC_{\varphi}'''),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}'' + \frac{1}{4} BC_{\varphi}''' - CC_{\varphi}' \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}''' - BC_{\varphi}' - CC_{\varphi}'' \right),$$

где

$$A = \frac{p_A - g_0}{k},$$

$$B = A \left[\frac{C_{2\lambda_1}''' C_{2\lambda_1} - C_{2\lambda_1}'' C_{2\lambda_1}'}{4(C_{2\lambda_1}')^2 + C_{2\lambda_1}' C_{2\lambda_1}''} \right],$$

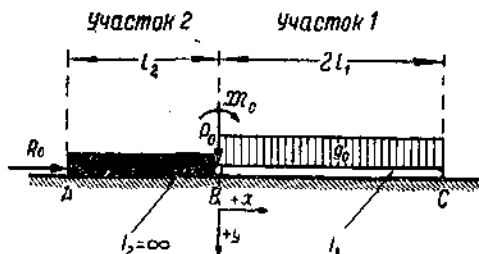
$$C = \frac{A}{4} \left[\frac{(C_{2\lambda_1}''')^2 + 4 C_{2\lambda_1}'' C_{2\lambda_1}'}{4(C_{2\lambda_1}')^2 + C_{2\lambda_1}' C_{2\lambda_1}''} \right].$$

§ 20. Балки, состоящие из двух или трех шарнирно связанных между собою участков с конечными и бесконечно большими величинами моментов инерции.

СХЕМА 145¹⁾.

Балка, состоящая из двух участков, из коих правый имеет конечный, а левый бесконечно большой момент инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении правого участка и любыми нагрузками на левом участке, приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моменту M_0 , в сечении шарнира.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = \frac{-\frac{g_0}{2} - \frac{P_0 m_1}{d} U_1 - \frac{M_0}{d} \left(\frac{3}{l_2^2} + \frac{3m_1}{l_2} U_1 \right)}{1 + \frac{1}{2} \xi U_1},$$

$$p_B = \frac{g_0 + \frac{2P_0 m_1}{d} U_1 + \frac{M_0}{d} \frac{3m_1}{l_2} U_1}{1 + \frac{1}{2} \xi U_1};$$

ξ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции на основания,

M — то же,

Q — то же.

¹⁾ Например плотина, связанная с поперечной плитой шарнирным соединением.

Для участка балки BC:

$$p = g_0 + k(AC''_{\varphi} + BC''_{\varphi} + DC'''_{\varphi}),$$

$$\operatorname{tg} \gamma = -m_1(AC'_{\varphi} + BC''_{\varphi} - 4DC'_{\varphi}),$$

$$M = -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} AC''_{\varphi} + \frac{1}{4} BC'''_{\varphi} - DC'_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - BC_{\varphi} - DC''_{\varphi} \right),$$

где

$$A = \frac{p_B - g_0}{k},$$

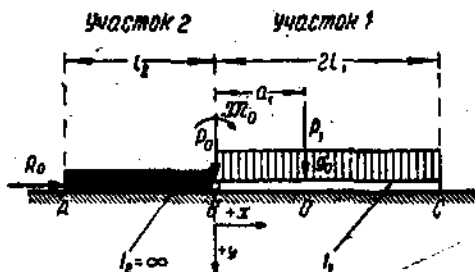
$$B = \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 \frac{P_0 m_1}{d}}{2 k},$$

$$D = \frac{AC''_{2\lambda_1} + BC''_{2\lambda_1}}{4 C'_{2\lambda_1}}.$$

СХЕМА 146.

Балка, состоящая из двух участков, из коих правый имеет конечный, а левый бесконечно большой момент инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении правого участка, сосредоточенной силой P_1 , приложенной в любом сечении того же участка и любыми нагрузками на левом участке, приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моменту M_0 в сечении шарнира.

Начало координат в точке В.



Для участка балки АВ:

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = \frac{-\frac{g_0}{2} - \frac{P_0 m_1}{d} U_1 - \frac{M_0}{d} \left(\frac{3}{l_2^3} + \frac{3 m_1}{l_2} U_1 \right) - \frac{P_1 m_1}{2d} A_0}{1 + \frac{1}{2} \xi U_1},$$

$$p_B = \frac{g_0 + \frac{2 P_0 m_1}{d} U_1 + \frac{M_0}{d} \cdot \frac{3 m_1}{l_2} U_1 + \frac{P_1 m_1}{d} A_0}{1 + \frac{1}{2} \xi U_1},$$

где

$$A_0 = 2 U_1 C_{a_1} + \frac{1}{2} V_1 C_{a_1}''' - C_{a_1};$$

$\text{tg } \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BD :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + D_1 C''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi - 4D_1 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{p_B - g_0}{k}, \\ B_1 &= \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 \frac{P_0 m_1}{d}}{2k}, \\ D_1 &= D_2 - \frac{P_1 m_1}{kd} \frac{1}{4} C''_{\alpha_1}. \end{aligned}$$

Для участка балки DC :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

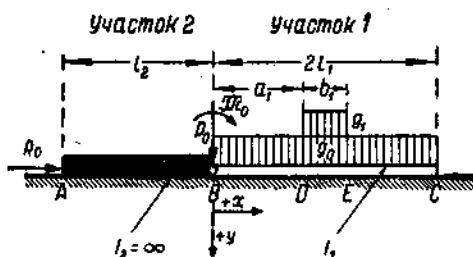
где

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 + \frac{P_1 m_1}{kd} C'_{\alpha_1}, \\ B_2 &= B_1 - \frac{P_1 m_1}{kd} C_{\alpha_1}, \\ C_2 &= -\frac{P_1 m_1}{kd} \frac{1}{4} C''_{\alpha_1}, \\ D_2 &= \frac{A_2 C''_{2\lambda_1} + B_2 C'''_{2\lambda_1} - 4C_2 C_{2\lambda_1}}{4C'_{2\lambda_1}}. \end{aligned}$$

СХЕМА 147.

Балка, состоящая из двух участков, из коих правый имеет конечный, а левый бесконечно большой момент инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении правого участка с дополнительной равномерно распределенной нагрузкой g_1 на любом протяжении того же участка и любыми нагрузками на левом участке, приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моменту M_0 в сечении шарнира.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = \frac{-\frac{g_0}{2} - \frac{P_0 m_1}{d} U_1 - \frac{M_0}{d} \left(\frac{3}{l_2^3} + \frac{3 m_1}{l_2} U_1 \right) - \frac{g_1}{2} A_0}{1 + \frac{1}{2} \xi U_1},$$

$$p_B = \frac{g_0 + \frac{2 P_0 m_1}{d} U_1 + \frac{M_0}{d} \frac{3 m_1}{l_2} U_1 + g_1 A_0}{1 + \frac{1}{2} \xi U_1},$$

где

$$A_0 = -r_1 + \frac{1}{2} V_1 t_1 - \frac{1}{2} U_1 q_1;$$

$\operatorname{tg} \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BD :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_1 C_\varphi + B_1 C_\varphi' + D_1 C_\varphi'''), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_1 C_\varphi' + B_1 C_\varphi'' - 4D_1 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_1 C_\varphi''' - D_1 C_\varphi' \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C_\varphi''' - B_1 C_\varphi - D_1 C_\varphi'' \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{p_B - g_0}{k}, \\ B_1 &= \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 \frac{P_0 m_1}{d}}{2k}, \\ D_1 &= D_2 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}. \end{aligned}$$

Для участка балки DE :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + g_1 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C_\varphi' + C_2 C_\varphi'' + D_2 C_\varphi'''), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_2 C_\varphi' + B_2 C_\varphi'' + C_2 C_\varphi''' - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi'' + \frac{1}{4} B_2 C_\varphi''' - C_2 C_\varphi - D_2 C_\varphi' \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C_\varphi''' - B_2 C_\varphi - C_2 C_\varphi' - D_2 C_\varphi'' \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 - \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}, \\ B_2 &= B_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}''', \\ C_2 &= \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}', \\ D_2 &= D_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1 + \beta_1}'. \end{aligned}$$

Для участка балки EC :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

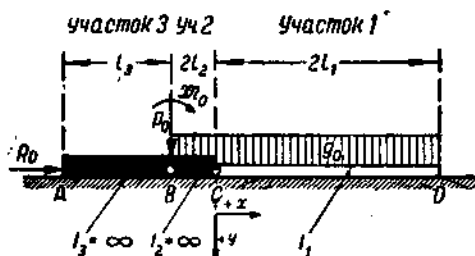
где

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 + \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1 + \beta_1}, \\ B_2 &= B_1 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'''_{\alpha_1 + \beta_1}, \\ C_2 &= C_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'_{\alpha_1 + \beta_1}, \\ D_2 &= \frac{A_1 C''_{2\lambda_1} + B_1 C'''_{2\lambda_1} - 4C_1 C_{2\lambda_1}}{4C'_{2\lambda_1}}. \end{aligned}$$

СХЕМА 148¹⁾.

Балка, состоящая из трех участков, из коих правый имеет конечный, а два левых бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении правого и среднего участков и любыми нагрузками на левом участке, приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моменту M_0 в сечении левого шарнира.

Начало координат в точке C .



Для участков балки AB и BC :

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = \frac{-g_0 4 l_2 \left(Z - \frac{1}{2} \psi l_2 \right) - \frac{P_0}{d} 6 \left(Z + \frac{4}{3} \psi l_2 \right) - \frac{6 M_0}{l_2} \left(3Z + 2\psi l_2 + \frac{4Z l_2}{l_2} \right)}{Z (3 l_2 + 8 l_2)},$$

$$p_B = \frac{g_0 8 l_2 \left(Z - \frac{1}{2} \psi l_2 \right) + \frac{P_0}{d} 12 \left(Z + \frac{4}{3} \psi l_2 \right) + \frac{M_0}{d} \frac{18}{l_2} \left(Z + \frac{4}{3} \psi l_2 \right)}{Z (3 l_2 + 8 l_2)},$$

$$p_C = \frac{g_0 (Z + \psi l_2) + \frac{P_0}{d} (-4\psi) + \frac{M_0}{d} \left(-\frac{6\psi}{l_2} \right)}{Z},$$

где

$$Z = 3 l_3 + 8 l_2 + 2 \psi l_2 + 4 \psi l_2,$$

$$\psi = 2 l_2 m_1 U_1;$$

¹⁾ Например плотина, связанная с понурной плитой посредством жесткого участка на шарнирах. Возможность решения этой задачи впервые установлена инж. С. М. Франтовым.

$\operatorname{tg} \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки CD :

$$p = g_0 + \frac{(-Q_C)m_1}{d} \left(2U_1 C_\varphi - C'_\varphi + \frac{1}{2} V_1 C''_\varphi \right),$$

$$\operatorname{tg} \nu = - \frac{(-Q_C)m_1^2}{kd} (2U_1 C'_\varphi - C''_\varphi - 2V_1 C_\varphi),$$

$$M = - \frac{(-Q_C)}{m_1} \left(\frac{1}{2} U_1 C''_\varphi - \frac{1}{4} C'''_\varphi - \frac{1}{2} V_1 C'_\varphi \right),$$

$$Q = - (-Q_C) \left(\frac{1}{2} U_1 C'''_\varphi + C_\varphi - \frac{1}{2} V_1 C''_\varphi \right),$$

где

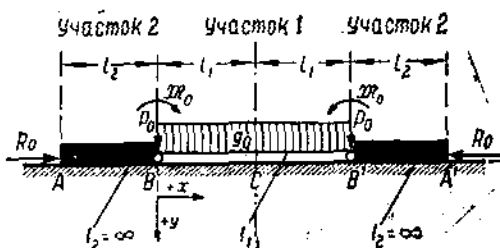
$$Q_B = -P_0 + \frac{(p_A + p_B)l_0}{2},$$

$$Q_C = Q_B - 2g_0 l_2 + (p_B + p_C)l_2.$$

СХЕМА 149¹⁾.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях шарниров.

Начало координат в точке В:



Для участка балки АВ:

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = \frac{-\frac{g_0}{2} - \frac{P_0 m_1}{2d} R_1 - \frac{M_0}{d} \left(\frac{3}{l_1^3} + \frac{3m_1}{2l_2} R_1 \right)}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1},$$

$$p_B = \frac{\xi_0 + P_0 \frac{m_1}{d} R_1 + \frac{M_0}{d} \cdot \frac{3m_1}{2l_2} R_1}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1}.$$

$\lg v$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

¹⁾ Например шлюз со стенами, связанными с дном при посредстве шарниров.

Для участка балки BC :

$$p = g_0 + k(AC''_{\varphi} + BC''_{\varphi} + DC'''_{\varphi}),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -m_1(AC'_{\varphi} + BC''_{\varphi} - 4DC''_{\varphi}),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} AC''_{\varphi} + \frac{1}{4} BC'''_{\varphi} - DC''_{\varphi} \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} AC'''_{\varphi} - BC_{\varphi} - DC''_{\varphi} \right),$$

где

$$A = \frac{p_B - g_0}{k},$$

$$B = \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 \frac{p_0 m_1}{d}}{2k}.$$

$$D = \frac{AC'_{\lambda_1} + BC''_{\lambda_1}}{4C_{\lambda_1}}$$

Для участков балки $A'B'$ и $B'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB и BC ,

$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

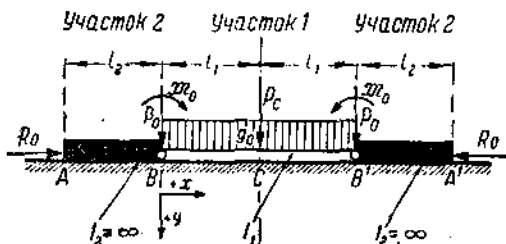
M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

СХЕМА 150.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка, сосредоточенной силой P_c в середине того же участка и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментами M_0 в сечениях шарниров.

Начало координат в точке B ,



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = \frac{-\frac{g_0}{2} - \frac{P_0 m_1}{2d} R_1 - \frac{M_0}{d} \left(\frac{3}{l_1^3} + \frac{3}{2} \frac{m_1}{l_2} R_1 \right) - \frac{P_c m_1}{2d} A_0}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1},$$

$$p_B = \frac{g_0 + P_0 \frac{m_1}{d} R_1 + \frac{M_0}{d} \frac{3 m_1}{2 l_2} R_1 + \frac{P_c m_1}{2d} A_0}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1},$$

где

$$A_0 = 2 U_1 C_{\lambda_1} + \frac{1}{2} V_1 C_{\lambda_1}''' - C_{\lambda_1}.$$

$\text{tg } \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BC :

$$p = g_0 + k(AC_{\varphi} + BC_{\varphi}' + DC_{\varphi}'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -m_1(AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}'' - 4DC_{\varphi}'),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}'' + \frac{1}{4} BC_{\varphi}''' - DC_{\varphi}'' \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}''' - BC_{\varphi}'' - DC_{\varphi}'' \right),$$

где

$$A = \frac{p_B - g_0}{k},$$

$$B = \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 \frac{P_0 m_1}{d}}{2k},$$

$$D = \frac{AC_{\lambda_1}' + BC_{\lambda_1}''}{4C_{\lambda_1}}.$$

Для участков балки $A'B'$ и $B'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB и BC ,

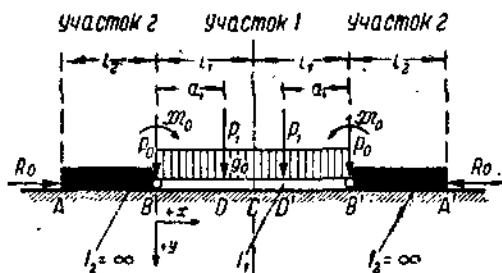
$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка, двумя симметрично расположенными сосредоточенными силами P_1 на том же участке и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях шарниров.

Начало координат в точке B.



Для участка балки AB:

p — изменяется по линейному закону причем:

$$P_A = \frac{-\frac{g_0}{2} - \frac{P_0 m_1}{2d} R_1 - \frac{M_0}{d} \left(\frac{3}{l_2^2} + \frac{3}{2} \frac{m_1}{l_2} R_1 \right) - \frac{P_1 m_1}{2d} A_0}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1},$$

$$P_B = \frac{g_0 + P_0 \frac{m_1}{d} R_1 + \frac{M_0}{d} \cdot \frac{3 m_1}{2 l_2} R_1 + P_1 \frac{m_1}{d} A_0}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1},$$

где

$$A_0 = 2 U_1 (C_{\alpha_1} + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}) + \frac{1}{2} V_1 (C_{\alpha_1}''' + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}''') - (C_{\alpha_1}' + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}');$$

$\text{tg } \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BD :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + D_1 C''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi - 4D_1 C_\varphi), \\ M &= -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{p_B - g_0}{k}, \\ B_1 &= \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 \frac{P_1 m_1}{d}}{2k}, \\ D_1 &= D_2 - \frac{P_1 m_1}{k d} \frac{1}{4} C''_{\alpha_1}, \end{aligned}$$

Для участка балки DC :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 + \frac{P_1 m_1}{k d} C'_{\alpha_1}, \\ B_2 &= B_1 - \frac{P_1 m_1}{k d} C_{\alpha_1}, \\ C_2 &= -\frac{P_1 m_1}{k d} \frac{1}{4} C'''_{\alpha_1}, \\ D_2 &= \frac{A_2 C'_{\lambda_1} + B_2 C''_{\lambda_1} + C_2 C'''_{\lambda_1}}{4 C_{\lambda_1}}. \end{aligned}$$

Для участков балки $A'B'$, $B'D'$ и $D'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB , BD и DC

$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

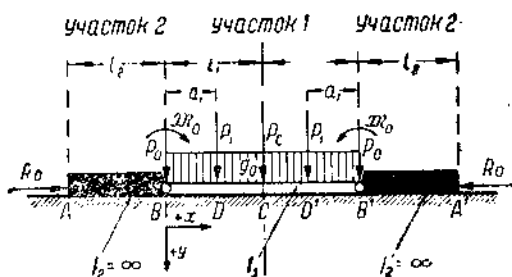
M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

СХЕМА 152.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка, тремя симметрично расположенными сосредоточенными силами P_1, P_c на том же участке и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях шарниров.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону причем:

$$p_A = \frac{\frac{g_0}{2} - \frac{P_0 m_1}{2d} R_1 - \frac{M_0}{d} \left(\frac{3}{l_2^3} + \frac{3}{2} \frac{m_1}{l_2} R_1 \right) - \frac{P_1 m_1}{2d} A_{01} - \frac{P_c m_1}{2d} A_{02}}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1}$$

$$p_B = \frac{g_0 + P_0 \frac{m_1}{d} R_1 + \frac{P_0 3 m_1}{d 2 l_1} R_1 + P_1 \frac{m_1}{d} A_{01} + P_c \frac{m_1}{d} A_{0c}}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1},$$

где

$$A_{01} = 2 U_1 (C_{\alpha_1} + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}) + \\ + \frac{1}{2} V_1 (C_{\alpha_1}''' + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}''') - (C_{\alpha_1}' + C_{2\lambda_1 - \alpha_1}');$$

$\operatorname{tg} \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BD :

$$p = g_0 + k (A_1 C_{\varphi} + B_1 C_{\varphi}' + D_1 C_{\varphi}'''),$$

$$\operatorname{tg} \nu = -m_1 (A_1 C_{\varphi}' + B_1 C_{\varphi}'' - 4 D_1 C_{\varphi}),$$

$$M = -\frac{k d}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C_{\varphi}'' + \frac{1}{4} B_1 C_{\varphi}''' - D_1 C_{\varphi}' \right),$$

$$Q = -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C_{\varphi}''' - B_1 C_{\varphi} - D_1 C_{\varphi}'' \right),$$

где

$$A_1 = \frac{p_B - g_0}{k},$$

$$B_1 = \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 \frac{P_0 m_1}{d}}{2 k}$$

$$D_1 = D_2 - \frac{P_1 m_1}{k d} \frac{1}{4} C_{\alpha_1}''.$$



Для участка балки DC :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \text{tg } \nu &= -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{k d}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{k d}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \\ A_2 &= A_1 + \frac{P_1 m_1}{k d} C_{a_1}, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} B_2 &= B_1 - \frac{P_1 m_1}{k d} C_{a_1}, \\ C_2 &= -\frac{P_1 m_1}{k d} \frac{1}{4} C'''_{a_1}, \\ D_2 &= \frac{A_2 C'_{\lambda_1} + B_2 C''_{\lambda_1} + C_2 C'''_{\lambda_1}}{4 C_{\lambda_1}}. \end{aligned}$$

Для участков балки $A'B'$, $B'D'$ и $D'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB , BD и DC ,

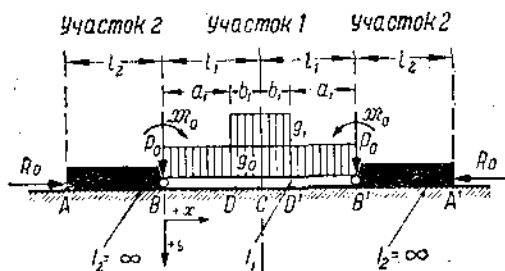
$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка с дополнительной равномерно распределенной нагрузкой g_1 , симметрично расположенной на любом протяжении того же участка, и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенными относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях шарниров.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = \frac{-\frac{g_0}{2} - \frac{P_0 m_1}{2d} R_1 - \frac{M_0}{d} \left(\frac{3}{l_2^2} + \frac{3}{2} \frac{m_1}{l_2} R_1 \right) - \frac{g_1}{2} A_0}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1},$$

$$p_B = \frac{g_0 + P_0 \frac{m_1}{d} R_1 + \frac{M_0}{d} \cdot \frac{3 m_1}{2 l_2} R_1 + g_1 A_0}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1},$$

где

$$A_0 = -r_1^{***} + \frac{1}{2} V_1 t_1^{***} - \frac{1}{2} U_1 q_1^{***}.$$

$\text{tg } \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания.

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BD :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + k(A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + D_1 C''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi - D_1 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - D_1 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{p_B - g_0}{k}, \\ B_1 &= \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 \frac{P_0 m_1}{d}}{2k}, \\ D_1 &= D_2 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}. \end{aligned}$$

Для участка балки DC :

$$\begin{aligned} p &= g_0 + g_1 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi), \\ \operatorname{tg} \nu &= -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4 D_2 C_\varphi), \\ M &= -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C_\varphi - D_2 C'_\varphi \right), \\ Q &= -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C''_\varphi \right), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1 - \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}, \\ B_2 &= B_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'''_{\alpha_1}, \\ C_2 &= \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C''_{\alpha_1}, \\ D_2 &= \frac{A_2 C'_{\lambda_1} + B_2 C''_{\lambda_1} + C_2 C'''_{\lambda_1}}{4 C_{\lambda_1}}, \end{aligned}$$

Для участков балки $A'B'$, $B'D'$ и $D'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков AB , BD и DC ,

$\operatorname{tg} \nu$ — то же, с переменной знака,

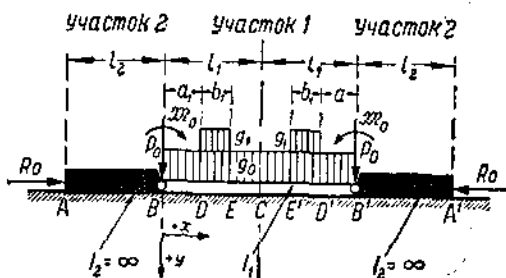
M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

CXEMA 154.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет конечный, а два крайние бесконечно большие моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении среднего участка с дополнительной равномерно распределенной нагрузкой g_1 , симметрично расположенной в двух местах, на любом протяжении того же участка и любыми нагрузками на крайних участках, симметрично расположенных относительно среднего участка и приводимыми к сосредоточенным силам P_0 и R_0 и моментам M_0 в сечениях шарниров.

Начало координат в точке B .



Для участка балки АВ:

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = \frac{-\frac{g_0}{2} - \frac{P_0 m_1}{2d} R_1 - \frac{m_0}{d} \left(\frac{3}{l_2^3} + \frac{3}{2} \frac{m_1}{l_2} R_1 \right) - \frac{g_1}{2} A_0}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1},$$

$$p_B = \frac{g_0 + P_0 \frac{m_1}{d} R_1 + \frac{m_0}{d} \frac{3 m_1}{2 l_2} R_1 + g_1 A_0}{1 + \frac{1}{4} \xi R_1},$$

где

$$A_0 = -(r_1 + r_1^{**}) + \frac{1}{2} V_1(t_1 + t_1^{**}) - \frac{1}{2} U_1(q_1 + q_1^{**});$$

g_v — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же,

Q — то же.

Для участка балки BD :

$$p = g_0 + k(A_1 C_\varphi + B_1 C'_\varphi + D_1 C''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} v = -m_1(A_1 C'_\varphi + B_1 C''_\varphi - 4D_1 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^3} \left(\frac{1}{4} A_1 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_1 C'''_\varphi - D_1 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_1 C'''_\varphi - B_1 C_\varphi - D_1 C'_\varphi \right),$$

где

$$A_1 = \frac{p_B - g_0}{k},$$

$$B_1 = \frac{(p_A + p_B) \xi - 2 \frac{P_0 m_1}{d}}{2k},$$

$$D_1 = D_2 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1}.$$

Для участка балки DE :

$$p = g_0 + g_1 + k(A_2 C_\varphi + B_2 C'_\varphi + C_2 C''_\varphi + D_2 C'''_\varphi),$$

$$\operatorname{tg} v = -m_1(A_2 C'_\varphi + B_2 C''_\varphi + C_2 C'''_\varphi - 4D_2 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^3} \left(\frac{1}{4} A_2 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_2 C'''_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} A_2 C'''_\varphi - B_2 C_\varphi - C_2 C'_\varphi - D_2 C'_\varphi \right),$$

где

$$A_2 = A_1 - \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1},$$

$$B_2 = B_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'''_{\alpha_1},$$

$$C_2 = \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'_{\alpha_1},$$

$$D_2 = D_1 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1 + \beta_1}.$$

Для участка балки EC :

$$p = g_0 + k(A_3 C_\varphi + B_3 C'_\varphi + C_3 C''_\varphi + D_3 C'''_\varphi),$$

$$\text{tg } \nu = -m_1 (A_3 C'_\varphi + B_3 C''_\varphi + C_3 C'''_\varphi - 4D_3 C_\varphi),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_3 C''_\varphi + \frac{1}{4} B_3 C'''_\varphi - C_3 C_\varphi - D_3 C'_\varphi \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1^2} \left(\frac{1}{4} A_3 C'''_\varphi - B_3 C_\varphi - C_3 C'_\varphi - D_3 C''_\varphi \right),$$

где

$$A_3 = A_2 + \frac{g_1}{k} C_{\alpha_1 + \beta_1},$$

$$B_3 = B_2 + \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C'''_{\alpha_1 + \beta_1},$$

$$C_3 = C_2 - \frac{1}{4} \frac{g_1}{k} C''_{\alpha_1 + \beta_1},$$

$$D_3 = \frac{A_2 C'_{\lambda_1} + B_2 C''_{\lambda_1} + C_2 C'''_{\lambda_1}}{4 C_{\lambda_1}},$$

Для участков балки

$A'B'$, $B'D'$, $D'E'$ и $E'C$:

p — зеркальное изображение соответствующих величин для участков, AB , BD , DE и EC ,

$\text{tg } \nu$ — то же, с переменной знака,

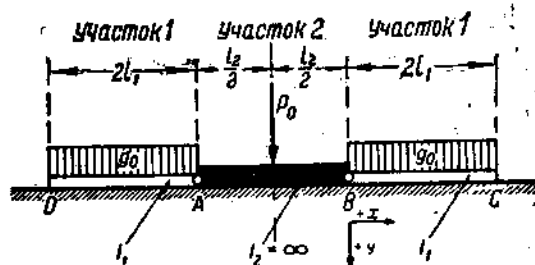
M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

СХЕМА 155.

Балка, состоящая из трех симметрично расположенных участков, из коих средний имеет бесконечно большой, а два крайние конечные моменты инерции, нагружена равномерно распределенной нагрузкой g_0 на всем протяжении крайних участков и любыми нагрузками на среднем участке, симметрично расположенными относительно этого участка и приводимыми к сосредоточенной силе P_0 в том же сечении.

Начало координат в точке B .



Для участка балки AB :

p — изменяется по линейному закону, причем:

$$p_A = p_B = \frac{g_0 Y + \frac{P_0 m_1}{d} Z}{Y + \xi Z},$$

где

$$Y = 1 + \frac{1}{3} U_1 \xi,$$

$$Z = U_1 + \frac{1}{3} U_1 \xi^2;$$

$\lg \nu$ — определяется элементарным способом, пользуясь полученными данными о распределении реакции основания,

M — то же.

Q — то же.

Для участка балки AD :

p — зеркальное изображение соответствующей величины для участка BC ,

$\operatorname{tg} \psi$ — то же, с переменной знака,

M — то же, без перемены знака,

Q — то же, с переменной знака.

Для участка балки BC :

$$p = g_0 + k(AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}'' + DC_{\varphi}'''),$$

$$\operatorname{tg} \psi = -m_1(AC_{\varphi}' + BC_{\varphi}'' - 4DC_{\varphi}'''),$$

$$M = -\frac{kd}{m_1^3} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}''' + \frac{1}{4} BC_{\varphi}''' - DC_{\varphi}' \right),$$

$$Q = -\frac{kd}{m_1} \left(\frac{1}{4} AC_{\varphi}''' - BC_{\varphi}'' - DC_{\varphi}'' \right),$$

где

$$A = \frac{p_A - g_0}{k},$$

$$B = A \left[\frac{C_{2\lambda_1}''' C_{2\lambda_1}' - (C_{2\lambda_1}'')^2}{C_{2\lambda_1}'' C_{2\lambda_1}''' + 4 C_{2\lambda_1}' C_{2\lambda_1}''} \right],$$

$$D = A \left[\frac{C_{2\lambda_1}'' C_{2\lambda_1}' + \frac{1}{4} (C_{2\lambda_1}''')^2}{C_{2\lambda_1}'' C_{2\lambda_1}''' + 4 C_{2\lambda_1}' C_{2\lambda_1}''} \right].$$

ТАБЛИЦЫ ЧИСЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИЙ, ВХОДЯЩИХ
В РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ.

§ 21. Таблицы круговых и гиперболических функций $\cos \varphi$, $\sin \varphi$ и $\cosh \varphi$, $\sinh \varphi$ для аргументов от $\varphi = 0$ до $\varphi = 10,00$.

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cosh \varphi$	$\sinh \varphi$
0,00	1,00000	0,00000	1,00000	0,00000
0,01	0,99995	0,01000	1,00005	0,01000
0,02	0,99980	0,02000	1,00020	0,02000
0,03	0,99955	0,03000	1,00045	0,03000
0,04	0,99920	0,03999	1,00080	0,04001
0,05	0,99875	0,04993	1,00125	0,05002
0,06	0,99820	0,05996	1,00180	0,06004
0,07	0,99755	0,06994	1,00245	0,07006
0,08	0,99680	0,07991	1,00320	0,08009
0,09	0,99595	0,08988	1,00405	0,09012
0,10	0,99500	0,09983	1,00500	0,10017
0,11	0,99396	0,10978	1,00606	0,11022
0,12	0,99281	0,11971	1,00721	0,12029
0,13	0,99156	0,12963	1,00846	0,13037
0,14	0,99022	0,13954	1,00982	0,14046
0,15	0,98877	0,14944	1,01127	0,15056
0,16	0,98723	0,15932	1,01283	0,16068
0,17	0,98558	0,16918	1,01448	0,17082
0,18	0,98384	0,17903	1,01624	0,18097
0,19	0,98200	0,18886	1,01810	0,19115
0,20	0,98007	0,19867	1,02007	0,20134
0,21	0,97803	0,20846	1,02213	0,21155
0,22	0,97590	0,21823	1,02430	0,22178
0,23	0,97367	0,22798	1,02657	0,23203
0,24	0,97134	0,23770	1,02894	0,24231
0,25	0,96891	0,24740	1,03141	0,25261
0,26	0,96639	0,25708	1,03399	0,26294
0,27	0,96377	0,26673	1,03667	0,27329
0,28	0,96106	0,27636	1,03946	0,28367
0,29	0,95824	0,28595	1,04235	0,29408
0,30	0,95534	0,29552	1,04534	0,30452
0,31	0,95233	0,30506	1,04844	0,31499
0,32	0,94924	0,31457	1,05164	0,32549
0,33	0,94604	0,32404	1,05495	0,33602
0,34	0,94275	0,33349	1,05836	0,34659
0,35	0,93937	0,34290	1,06188	0,35719

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
0,36	0,93590	0,35227	1,06550	0,36783
0,37	0,93233	0,36162	1,06923	0,37850
0,38	0,92866	0,37092	1,07307	0,38921
0,39	0,92491	0,38019	1,07702	0,39996
0,40	0,92106	0,38942	1,08107	0,41075
0,41	0,91712	0,39861	1,08523	0,42158
0,42	0,91309	0,40776	1,08950	0,43246
0,43	0,90897	0,41687	1,09388	0,44337
0,44	0,90475	0,42594	1,09837	0,45434
0,45	0,90045	0,43497	1,10297	0,46534
0,46	0,89605	0,44395	1,10768	0,47640
0,47	0,89157	0,45289	1,11250	0,48750
0,48	0,88699	0,46178	1,11743	0,49865
0,49	0,88233	0,47053	1,12247	0,50984
0,50	0,87758	0,47943	1,12763	0,52110
0,51	0,87274	0,48818	1,13289	0,53240
0,52	0,86782	0,49688	1,13827	0,54375
0,53	0,86281	0,50553	1,14377	0,55516
0,54	0,85771	0,51414	1,14938	0,56663
0,55	0,85252	0,52269	1,15510	0,57815
0,56	0,84726	0,53119	1,16094	0,58973
0,57	0,84190	0,53963	1,16690	0,60137
0,58	0,83646	0,54802	1,17297	0,61307
0,59	0,83094	0,55636	1,17916	0,62483
0,60	0,82534	0,56464	1,18547	0,63665
0,61	0,81965	0,57287	1,19189	0,64854
0,62	0,81388	0,58104	1,19844	0,66049
0,63	0,80803	0,58914	1,20510	0,67251
0,64	0,80210	0,59720	1,21189	0,68459
0,65	0,79608	0,60519	1,21879	0,69675
0,66	0,78999	0,61312	1,22582	0,70897
0,67	0,78382	0,62099	1,23297	0,72126
0,68	0,77757	0,62879	1,24025	0,73363
0,69	0,77125	0,63654	1,24765	0,74607
0,70	0,76484	0,64422	1,25517	0,75858
0,71	0,75836	0,65183	1,26282	0,77117
0,72	0,75181	0,65938	1,27059	0,78384
0,73	0,74517	0,66687	1,27849	0,79659
0,74	0,73847	0,67429	1,28652	0,80941
0,75	0,73169	0,68164	1,29468	0,82232
0,76	0,72484	0,68892	1,30297	0,83530
0,77	0,71791	0,69614	1,31139	0,84838
0,78	0,71091	0,70328	1,31994	0,86153
0,79	0,70385	0,71035	1,32862	0,87478
0,80	0,69671	0,71736	1,33743	0,88811

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
0,81	0,68950	0,72429	1,34638	0,90152
0,82	0,68222	0,73115	1,35547	0,91503
0,83	0,67488	0,73793	1,36468	0,92863
0,84	0,66746	0,74464	1,37404	0,94233
0,85	0,65998	0,75128	1,38353	0,95612
0,86	0,65244	0,75784	1,39316	0,97000
0,87	0,64483	0,76433	1,40293	0,98398
0,88	0,63715	0,77074	1,41284	0,99806
0,89	0,62941	0,77707	1,42289	1,01224
0,90	0,62161	0,78333	1,43309	1,02652
0,91	0,61375	0,78950	1,44342	1,04090
0,92	0,60582	0,79560	1,45390	1,05539
0,93	0,59783	0,80162	1,46453	1,06998
0,94	0,58979	0,80756	1,47530	1,08468
0,95	0,58168	0,81342	1,48623	1,09948
0,96	0,57352	0,81919	1,49729	1,11440
0,97	0,56530	0,82489	1,50851	1,12943
0,98	0,55702	0,83050	1,51988	1,14457
0,99	0,54869	0,83603	1,53141	1,15983
1,00	0,54030	0,84147	1,54308	1,17520
1,01	0,53186	0,84683	1,55491	1,19069
1,02	0,52337	0,85211	1,56689	1,20630
1,03	0,51482	0,85730	1,57904	1,22203
1,04	0,50622	0,86240	1,59134	1,23788
1,05	0,49757	0,86742	1,60379	1,25386
1,06	0,48887	0,87236	1,61641	1,26996
1,07	0,48012	0,87720	1,62919	1,28619
1,08	0,47133	0,88196	1,64214	1,30254
1,09	0,46249	0,88663	1,65525	1,31903
1,10	0,45360	0,89121	1,66852	1,33565
1,11	0,44466	0,89570	1,68196	1,35240
1,12	0,43568	0,90010	1,69557	1,36929
1,13	0,42666	0,90441	1,70934	1,38631
1,14	0,41759	0,90863	1,72329	1,40347
1,15	0,40849	0,91276	1,73741	1,42078
1,16	0,39934	0,91680	1,75171	1,43822
1,17	0,39015	0,92075	1,76618	1,45581
1,18	0,38092	0,92461	1,78083	1,47355
1,19	0,37166	0,92837	1,79565	1,49143
1,20	0,36236	0,93204	1,81066	1,50946
1,21	0,35302	0,93562	1,82584	1,52764
1,22	0,34365	0,93910	1,84121	1,54598
1,23	0,33424	0,94249	1,85676	1,56447
1,24	0,32480	0,94578	1,87250	1,58311
1,25	0,31532	0,94898	1,88842	1,60192

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
1,26	0,30582	0,95209	1,90454	1,62088
1,27	0,29628	0,95510	1,92084	1,64001
1,28	0,28672	0,95802	1,93734	1,65920
1,29	0,27712	0,96084	1,95403	1,67876
1,30	0,26750	0,96356	1,97091	1,69838
1,31	0,25785	0,96618	1,98800	1,71818
1,32	0,24818	0,96872	2,00528	1,73814
1,33	0,23848	0,97115	2,02276	1,75828
1,34	0,22875	0,97348	2,04044	1,77860
1,35	0,21901	0,97572	2,05833	1,79909
1,36	0,20924	0,97786	2,07643	1,81977
1,37	0,19945	0,97991	2,09473	1,84062
1,38	0,18964	0,98185	2,11324	1,86166
1,39	0,17981	0,98370	2,13196	1,88289
1,40	0,16997	0,98545	2,15090	1,90430
1,41	0,16010	0,98710	2,17005	1,92591
1,42	0,15023	0,98865	2,18942	1,94770
1,43	0,14033	0,99010	2,20900	1,96970
1,44	0,13042	0,99146	2,22881	1,99188
1,45	0,12050	0,99271	2,24884	2,01427
1,46	0,11057	0,99387	2,26910	2,03686
1,47	0,10063	0,99492	2,28958	2,05965
1,48	0,09067	0,99588	2,31029	2,08265
1,49	0,08071	0,99674	2,33123	2,10586
1,50	0,07074	0,99749	2,35241	2,12928
1,51	0,06076	0,99815	2,37382	2,15291
1,52	0,05077	0,99871	2,39547	2,17676
1,53	0,04079	0,99917	2,41736	2,20082
1,54	0,03079	0,99953	2,43949	2,22510
1,55	0,02079	0,99978	2,46186	2,24961
1,56	0,01080	0,99994	2,48448	2,27434
1,57	0,00080	1,00000	2,50735	2,29930
1,58	— 0,00920	0,99996	2,53047	2,32449
1,59	— 0,01920	0,99982	2,55384	2,34991
1,60	— 0,02920	0,99957	2,57746	2,37557
1,61	— 0,03919	0,99923	2,60135	2,40146
1,62	— 0,04918	0,99879	2,62549	2,42760
1,63	— 0,05917	0,99825	2,64990	2,45397
1,64	— 0,06915	0,99761	2,67457	2,48059
1,65	— 0,07912	0,99687	2,69951	2,50746
1,66	— 0,08909	0,99602	2,72472	2,53459
1,67	— 0,09904	0,99508	2,75021	2,56196
1,68	— 0,10899	0,99404	2,77596	2,58959
1,69	— 0,11892	0,99290	2,80200	2,61748
1,70	— 0,12884	0,99166	2,82832	2,64563

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
1,71	—0,13875	0,99033	2,85491	2,67405
1,72	—0,14865	0,98889	2,88180	2,70273
1,73	—0,15853	0,98735	2,90897	2,73168
1,74	—0,16840	0,98572	2,93643	2,76091
1,75	—0,17825	0,98399	2,96419	2,79041
1,76	—0,18808	0,98215	2,99224	2,82020
1,77	—0,19789	0,98022	3,02059	2,85026
1,78	—0,20768	0,97820	3,04925	2,88061
1,79	—0,21745	0,97607	3,07821	2,91125
1,80	—0,22720	0,97385	3,10747	2,94217
1,81	—0,23693	0,97153	3,13705	2,97340
1,82	—0,24663	0,96911	3,16694	3,00492
1,83	—0,25631	0,96659	3,19715	3,03674
1,84	—0,26596	0,96398	3,22768	3,06886
1,85	—0,27559	0,96128	3,25853	3,10129
1,86	—0,28519	0,95847	3,28970	3,13403
1,87	—0,29476	0,95557	3,32121	3,16709
1,88	—0,30430	0,95258	3,35305	3,20046
1,89	—0,31381	0,94949	3,38522	3,23415
1,90	—0,32329	0,94630	3,41773	3,26816
1,91	—0,33274	0,94302	3,45058	3,30250
1,92	—0,34215	0,93965	3,48378	3,33718
1,93	—0,35153	0,93618	3,51733	3,37218
1,94	—0,36087	0,93261	3,55123	3,40752
1,95	—0,37018	0,92896	3,58548	3,44321
1,96	—0,37945	0,92521	3,62009	3,47923
1,97	—0,38868	0,92137	3,65507	3,51561
1,98	—0,39788	0,91744	3,69041	3,55234
1,99	—0,40703	0,91341	3,72611	3,58942
2,00	—0,41615	0,90930	3,76220	3,62686
2,01	—0,42522	0,90509	3,79865	3,66466
2,02	—0,43425	0,90079	3,83549	3,70283
2,03	—0,44323	0,89641	3,87271	3,74138
2,04	—0,45218	0,89193	3,91032	3,78029
2,05	—0,46107	0,88736	3,94832	3,81958
2,06	—0,46992	0,88271	3,98671	3,85926
2,07	—0,47873	0,87796	4,02550	3,89932
2,08	—0,48748	0,87313	4,06470	3,93977
2,09	—0,49619	0,86821	4,10430	3,98061
2,10	—0,50485	0,86321	4,14431	4,02186
2,11	—0,51345	0,85812	4,18474	4,06350
2,12	—0,52201	0,85294	4,22558	4,10555
2,13	—0,53051	0,84768	4,26685	4,14801
2,14	—0,53896	0,84233	4,30855	4,19089
2,15	—0,54736	0,83690	4,35067	4,23419

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
2,16	—0,55570	0,83138	4,39323	4,27791
2,17	—0,56399	0,82579	4,43623	4,32205
2,18	—0,57221	0,82010	4,47967	4,36663
2,19	—0,58039	0,81434	4,52356	4,41165
2,20	—0,58850	0,80850	4,56791	4,45711
2,21	—0,59656	0,80257	4,61271	4,50301
2,22	—0,60455	0,79657	4,65797	4,54936
2,23	—0,61249	0,79048	4,70370	4,59617
2,24	—0,62036	0,78432	4,74989	4,64344
2,25	—0,62817	0,77807	4,79657	4,69117
2,26	—0,63592	0,77175	4,84372	4,73937
2,27	—0,64361	0,76535	4,89136	4,78804
2,28	—0,65123	0,75888	4,93948	4,83720
2,29	—0,65879	0,75233	4,98810	4,88684
2,30	—0,66628	0,74571	5,03722	4,93696
2,31	—0,67370	0,73901	5,08684	4,98758
2,32	—0,68106	0,73223	5,13697	5,03870
2,33	—0,68834	0,72538	5,18762	5,09032
2,34	—0,69556	0,71846	5,23878	5,14245
2,35	—0,70271	0,71147	5,29047	5,19510
2,36	—0,70979	0,70441	5,34269	5,24827
2,37	—0,71680	0,69728	5,39544	5,30196
2,38	—0,72374	0,69007	5,44873	5,35618
2,39	—0,73060	0,68280	5,50256	5,41093
2,40	—0,73739	0,67546	5,55695	5,46623
2,41	—0,74411	0,66806	5,61189	5,52207
2,42	—0,75075	0,66058	5,66739	5,57847
2,43	—0,75732	0,65304	5,72346	5,63542
2,44	—0,76382	0,64544	5,78010	5,69294
2,45	—0,77023	0,63776	5,83732	5,75103
2,46	—0,77657	0,63003	5,89512	5,80969
2,47	—0,78283	0,62223	5,95352	5,86893
2,48	—0,78901	0,61437	6,01250	5,92876
2,49	—0,79512	0,60645	6,07209	5,98918
2,50	—0,80114	0,59847	6,13229	6,05020
2,51	—0,80709	0,59043	6,19310	6,11183
2,52	—0,81295	0,58233	6,25453	6,17407
2,53	—0,81873	0,57417	6,31658	6,23692
2,54	—0,82444	0,56596	6,37927	6,30040
2,55	—0,83005	0,55768	6,44259	6,36451
2,56	—0,83559	0,54936	6,50656	6,42926
2,57	—0,84104	0,54097	6,57118	6,49464
2,58	—0,84641	0,53253	6,63646	6,56068
2,59	—0,85169	0,52404	6,70240	6,62738
2,60	—0,85689	0,51550	6,76901	6,69473

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
2,61	— 0,86200	0,50691	6,83629	6,76276
2,62	— 0,86703	0,49826	6,90426	6,83148
2,63	— 0,87197	0,48957	6,97292	6,90085
2,64	— 0,87682	0,48082	7,04228	6,97092
2,65	— 0,88158	0,47203	7,11234	7,04169
2,66	— 0,88626	0,46319	7,18312	7,11317
2,67	— 0,89085	0,45431	7,25461	7,18536
2,68	— 0,89534	0,44537	7,32683	7,25527
2,69	— 0,89975	0,43640	7,39978	7,33190
2,70	— 0,90407	0,42738	7,47347	7,40626
2,71	— 0,90830	0,41832	7,54791	7,48137
2,72	— 0,91244	0,40921	7,62310	7,55722
2,73	— 0,91648	0,40007	7,69905	7,63383
2,74	— 0,92044	0,39088	7,77578	7,71121
2,75	— 0,92430	0,38166	7,85328	7,78935
2,76	— 0,92807	0,37240	7,93157	7,86828
2,77	— 0,93175	0,36310	8,01065	7,94799
2,78	— 0,93533	0,35376	8,09053	8,02849
2,79	— 0,93883	0,34439	8,17122	8,10980
2,80	— 0,94222	0,33499	8,25273	8,19192
2,81	— 0,94553	0,32555	8,33506	8,27486
2,82	— 0,94873	0,31608	8,41823	8,35862
2,83	— 0,95185	0,30658	8,50224	8,44322
2,84	— 0,95486	0,29704	8,58710	8,52867
2,85	— 0,95779	0,28748	8,67281	8,61497
2,86	— 0,96061	0,27789	8,75940	8,70213
2,87	— 0,96334	0,26827	8,84686	8,79016
2,88	— 0,96598	0,25862	8,93520	8,87907
2,89	— 0,96852	0,24895	9,02444	8,96887
2,90	— 0,97096	0,23925	9,11458	9,05956
2,91	— 0,97330	0,22953	9,20564	9,15116
2,92	— 0,97555	0,21978	9,29761	9,24368
2,93	— 0,97770	0,21002	9,39051	9,33712
2,94	— 0,97975	0,20023	9,48436	9,43149
2,95	— 0,98170	0,19042	9,57915	9,52681
2,96	— 0,98356	0,18060	9,67490	9,62308
2,97	— 0,98531	0,17075	9,77161	9,72031
2,98	— 0,98697	0,16089	9,86930	9,81851
2,99	— 0,98853	0,15101	9,96798	9,91770
3,00	— 0,98999	0,14112	10,06766	10,01787
3,01	— 0,99135	0,13121	10,16835	10,11905
3,02	— 0,99262	0,12129	10,27005	10,22125
3,03	— 0,99378	0,11136	10,37277	10,32446
3,04	— 0,99484	0,10142	10,47654	10,42870
3,05	— 0,99581	0,09146	10,58135	10,53399

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
3,06	— 0,99667	0,08150	10,68722	10,64033
3,07	— 0,99744	0,07153	10,79416	10,74774
3,08	— 0,99810	0,06155	10,90218	10,85622
3,09	— 0,99867	0,05157	11,01129	10,96579
3,10	— 0,99914	0,04158	11,12150	11,07645
3,11	— 0,99950	0,03159	11,23282	11,18822
3,12	— 0,99977	0,02159	11,34527	11,30111
3,13	— 0,99993	0,01159	11,45885	11,41513
3,14	— 1,00000	0,00159	11,57357	11,53029
3,15	— 0,99996	— 0,00841	11,68946	11,64661
3,16	— 0,99983	— 0,01841	11,80651	11,76409
3,17	— 0,99960	— 0,02840	11,92474	11,88274
3,18	— 0,99926	— 0,03840	12,04417	12,00258
3,19	— 0,99883	— 0,04839	12,16480	12,12363
3,20	— 0,99829	— 0,05837	12,28665	12,24588
3,21	— 0,99766	— 0,06835	12,40972	12,36936
3,22	— 0,99693	— 0,07833	12,53404	12,49408
3,23	— 0,99609	— 0,08829	12,65961	12,62005
3,24	— 0,99516	— 0,09825	12,78644	12,74728
3,25	— 0,99413	— 0,10820	12,91456	12,87578
3,26	— 0,99300	— 0,11813	13,04396	13,00557
3,27	— 0,99177	— 0,12805	13,17467	13,13667
3,28	— 0,99044	— 0,13797	13,30670	13,26907
3,29	— 0,98901	— 0,14786	13,44006	13,40280
3,30	— 0,98748	— 0,15775	13,57476	13,53788
3,31	— 0,98585	— 0,16761	13,71082	13,67430
3,32	— 0,98413	— 0,17746	13,84825	13,81210
3,33	— 0,98230	— 0,18729	13,98707	13,95127
3,34	— 0,98038	— 0,19711	14,12728	14,09185
3,35	— 0,97836	— 0,20690	14,26891	14,23382
3,36	— 0,97624	— 0,21668	14,41196	14,37723
3,37	— 0,97403	— 0,22643	14,55646	14,52207
3,38	— 0,97172	— 0,23616	14,70241	14,66836
3,39	— 0,96931	— 0,24586	14,84983	14,81612
3,40	— 0,96680	— 0,25554	14,99874	14,96536
3,41	— 0,96419	— 0,26520	15,14914	15,11610
3,42	— 0,96149	— 0,27482	15,30106	15,26835
3,43	— 0,95870	— 0,28443	15,45451	15,42213
3,44	— 0,95581	— 0,29400	15,60951	15,57745
3,45	— 0,95282	— 0,30354	15,76607	15,73432
3,46	— 0,94974	— 0,31305	15,92420	15,89277
3,47	— 0,94656	— 0,32254	16,08393	16,05281
3,48	— 0,94328	— 0,33199	16,24526	16,21446
3,49	— 0,93992	— 0,34140	16,40822	16,37772
3,50	— 0,93646	— 0,35078	16,57282	16,54263

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
3,51	— 0,93290	— 0,36013	16,73908	16,70919
3,52	— 0,92925	— 0,36944	16,90701	16,87741
3,53	— 0,92551	— 0,37871	17,07664	17,04733
3,54	— 0,92168	— 0,38795	17,24797	17,21895
3,55	— 0,91775	— 0,39715	17,42102	17,39230
3,56	— 0,91374	— 0,40631	17,59582	17,56738
3,57	— 0,90963	— 0,41542	17,77237	17,74422
3,58	— 0,90543	— 0,42450	17,95071	17,92283
3,59	— 0,90114	— 0,43353	18,13084	18,10324
3,60	— 0,89676	— 0,44252	18,31278	18,28546
3,61	— 0,89229	— 0,45147	18,49655	18,46950
3,62	— 0,88773	— 0,46037	18,68218	18,65539
3,63	— 0,88308	— 0,46922	18,86967	18,84315
3,64	— 0,87835	— 0,47803	19,05904	19,03279
3,65	— 0,87352	— 0,48679	19,25033	19,22434
3,66	— 0,86861	— 0,49550	19,44354	19,41781
3,67	— 0,86361	— 0,50416	19,63869	19,61321
3,68	— 0,85853	— 0,51277	19,83581	19,81059
3,69	— 0,85336	— 0,52133	20,03491	20,00994
3,70	— 0,84810	— 0,52984	20,23601	20,21129
3,71	— 0,84276	— 0,53829	20,43914	20,41466
3,72	— 0,83733	— 0,54669	20,64431	22,62008
3,73	— 0,83183	— 0,55504	20,85155	20,82756
3,74	— 0,82623	— 0,56333	21,06087	21,03712
3,75	— 0,82056	— 0,57156	21,27230	21,24878
3,76	— 0,81480	— 0,57974	21,48585	21,46257
3,77	— 0,80896	— 0,58786	21,70156	21,67851
3,78	— 0,80305	— 0,59592	21,91943	21,89661
3,79	— 0,79705	— 0,60392	22,13950	22,11690
3,80	— 0,79097	— 0,61186	22,36178	22,33941
3,81	— 0,78481	— 0,61974	22,58629	22,56415
3,82	— 0,77857	— 0,62755	22,81307	22,79114
3,83	— 0,77226	— 0,63531	23,04212	23,02041
3,84	— 0,76587	— 0,64300	23,27348	23,25199
3,85	— 0,75940	— 0,65063	23,50717	23,48589
3,86	— 0,75285	— 0,65819	23,74321	23,72214
3,87	— 0,74624	— 0,66568	23,98162	23,96076
3,88	— 0,73954	— 0,67311	24,22243	24,20178
3,89	— 0,73277	— 0,68047	24,46567	24,44522
3,90	— 0,72593	— 0,68777	24,71135	24,69110
3,91	— 0,71902	— 0,69499	24,95950	24,93946
3,92	— 0,71203	— 0,70215	25,21014	25,19030
3,93	— 0,70498	— 0,70923	25,46331	25,44367
3,94	— 0,69785	— 0,71625	25,71902	25,69958
3,95	— 0,69065	— 0,72319	25,97731	25,95806

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
3,96	— 0,68338	— 0,73006	26,23819	26,21913
3,97	— 0,67605	— 0,73686	26,50170	26,48283
3,98	— 0,66865	— 0,74358	26,76786	26,74917
3,99	— 0,66118	— 0,75023	27,03669	27,01819
4,00	— 0,65364	— 0,75680	27,30823	27,28992
4,01	— 0,64604	— 0,76330	27,58250	27,56437
4,02	— 0,63838	— 0,76972	27,85953	27,84158
4,03	— 0,63065	— 0,77607	29,13934	28,12157
4,04	— 0,62286	— 0,78234	28,42197	28,40437
4,05	— 0,61500	— 0,78853	28,70744	28,69002
4,06	— 0,60709	— 0,79464	28,99578	28,97853
4,07	— 0,59911	— 0,80067	29,28702	29,26994
4,08	— 0,59107	— 0,80662	29,58119	29,56428
4,09	— 0,58298	— 0,81249	29,87832	29,86158
4,10	— 0,57482	— 0,81828	30,17843	30,16186
4,11	— 0,56661	— 0,82398	30,48156	30,46515
4,12	— 0,55834	— 0,82961	30,78774	30,77150
4,13	— 0,55002	— 0,83515	31,09700	31,08092
4,14	— 0,54164	— 0,84061	31,40937	31,39345
4,15	— 0,53321	— 0,84598	31,72488	31,70912
4,16	— 0,52472	— 0,85127	32,04357	32,02796
4,17	— 0,51618	— 0,85648	32,36545	32,35000
4,18	— 0,50759	— 0,86160	32,69058	32,67528
4,19	— 0,49895	— 0,86663	33,01897	33,00382
4,20	— 0,49026	— 0,87158	33,35066	33,33567
4,21	— 0,48152	— 0,87643	33,68569	33,67085
4,22	— 0,47273	— 0,88121	34,02409	34,00939
4,23	— 0,46390	— 0,88589	34,36589	34,35134
4,24	— 0,45501	— 0,89048	34,71113	34,69672
4,25	— 0,44609	— 0,89499	35,05984	35,04557
4,26	— 0,43712	— 0,89941	35,41205	35,39793
4,27	— 0,42810	— 0,90373	35,76781	35,75383
4,28	— 0,41904	— 0,90797	36,12714	36,11330
4,29	— 0,40994	— 0,91211	36,49009	36,47638
4,30	— 0,40080	— 0,91617	36,85668	36,84311
4,31	— 0,39162	— 0,92013	37,22696	37,21353
4,32	— 0,38240	— 0,92400	37,60096	37,58766
4,33	— 0,37314	— 0,92778	37,97873	37,96556
4,34	— 0,36384	— 0,93146	38,36029	38,34725
4,35	— 0,35451	— 0,93505	38,74568	38,73278
4,36	— 0,34514	— 0,93855	39,13496	39,12218
4,37	— 0,33574	— 0,94196	39,52814	39,51549
4,38	— 0,32630	— 0,94527	39,92528	39,91275
4,39	— 0,31683	— 0,94848	40,32641	40,31401
4,40	— 0,30733	— 0,95160	40,73157	40,71930

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
4,41	— 0,29780	— 0,95463	41,14081	41,12865
4,42	— 0,28824	— 0,95756	41,55416	41,54213
4,43	— 0,27865	— 0,96039	41,97167	41,95975
4,44	— 0,26903	— 0,96318	42,39337	42,38157
4,45	— 0,25939	— 0,96577	42,81931	42,80763
4,46	— 0,24972	— 0,96832	43,24954	43,23797
4,47	— 0,24002	— 0,97077	43,68409	43,67264
4,48	— 0,23030	— 0,97312	44,12300	44,11167
4,49	— 0,22056	— 0,97537	44,56633	44,55511
4,50	— 0,21080	— 0,97753	45,01412	45,00301
4,51	— 0,20101	— 0,97959	45,46641	45,45541
4,52	— 0,19120	— 0,98155	45,92324	45,91235
4,53	— 0,18138	— 0,98341	46,38467	46,37389
4,54	— 0,17154	— 0,98518	46,85074	46,84006
4,55	— 0,16168	— 0,98684	47,32149	47,31092
4,56	— 0,15180	— 0,98841	47,79697	47,78651
4,57	— 0,14191	— 0,98988	48,27723	48,26688
4,58	— 0,13200	— 0,99125	48,76232	48,75207
4,59	— 0,12208	— 0,99252	49,25229	49,24214
4,60	— 0,11215	— 0,99369	49,74718	49,73713
4,61	— 0,10221	— 0,99476	50,24705	50,23710
4,62	— 0,09226	— 0,99574	50,75194	50,74209
4,63	— 0,08230	— 0,99661	51,26191	51,25215
4,64	— 0,07233	— 0,99738	51,77700	51,76734
4,65	— 0,06235	— 0,99805	52,29727	52,28771
4,66	— 0,05237	— 0,99863	52,82277	52,81331
4,67	— 0,04238	— 0,99910	53,35356	53,34419
4,68	— 0,03238	— 0,99948	53,88968	53,88040
4,69	— 0,02239	— 0,99975	54,43118	54,42200
4,70	— 0,01239	— 0,99992	54,97813	54,96904
4,71	— 0,00239	— 1,00000	55,53058	55,52158
4,72	0,00761	— 0,99997	56,08858	56,07967
4,73	0,01761	— 0,99984	56,65219	56,64337
4,74	0,02761	— 0,99962	57,22147	57,21273
4,75	0,03760	— 0,99929	57,79647	57,78782
4,76	0,04759	— 0,99887	58,37725	58,36868
4,77	0,05758	— 0,99834	58,96386	58,95538
4,78	0,06756	— 0,99772	59,55637	59,54798
4,79	0,07753	— 0,99699	60,15484	60,14653
4,80	0,08750	— 0,99616	60,75932	60,75109
4,81	0,09746	— 0,99524	61,36988	61,36173
4,82	0,10740	— 0,99422	61,98658	61,97851
4,83	0,11734	— 0,99309	62,60947	62,60149
4,84	0,12726	— 0,99187	63,23863	63,23072
4,85	0,13718	— 0,99055	63,87411	63,86628

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
4,86	0,14708	— 0,98913	64,51598	64,50823
4,87	0,15696	— 0,98761	65,16430	65,15662
4,88	0,16683	— 0,98599	65,81913	65,81153
4,89	0,17668	— 0,98427	66,48055	66,47303
4,90	0,18651	— 0,98245	67,14861	67,14117
4,91	0,19633	— 0,98054	67,82339	67,81602
4,92	0,20612	— 0,97853	68,50496	68,49766
4,93	0,21590	— 0,97642	69,19337	69,18614
4,94	0,22565	— 0,97421	69,88870	69,88155
4,95	0,23538	— 0,97190	70,59102	70,58394
4,96	0,24509	— 0,96950	71,30040	71,29339
4,97	0,25477	— 0,96700	72,01692	72,00997
4,98	0,26443	— 0,96441	72,74063	72,73375
4,99	0,27406	— 0,96171	73,47161	73,46481
5,00	0,28366	— 0,95892	74,20995	74,20321
5,01	0,29324	— 0,95604	74,95570	74,94903
5,02	0,30278	— 0,95306	75,70895	75,70235
5,03	0,31230	— 0,94998	76,46978	76,46324
5,04	0,32178	— 0,94681	77,23824	77,23177
5,05	0,33123	— 0,94355	78,01444	78,00803
5,06	0,34065	— 0,94019	78,79843	78,79209
5,07	0,35004	— 0,93674	79,59030	79,58402
5,08	0,35939	— 0,93319	80,39014	80,38392
5,09	0,36870	— 0,92955	81,19801	81,19185
5,10	0,37798	— 0,92581	82,01400	82,00791
5,11	0,38722	— 0,92199	82,83820	82,83216
5,12	0,39642	— 0,91807	83,67067	83,66470
5,13	0,40558	— 0,91406	84,51152	84,50560
5,14	0,41470	— 0,90996	85,36081	85,35496
5,15	0,42378	— 0,90577	86,21864	86,21285
5,16	0,43281	— 0,90148	87,08510	87,07936
5,17	0,44181	— 0,89711	87,96026	87,95458
5,18	0,45076	— 0,89265	88,84422	88,83859
5,19	0,45966	— 0,88810	89,73706	89,73149
5,20	0,46852	— 0,88345	90,63888	90,63336
5,21	0,47733	— 0,87873	91,54976	91,54430
5,22	0,48609	— 0,87391	92,46980	92,46439
5,23	0,49481	— 0,86900	93,39908	93,39373
5,24	0,50347	— 0,86401	94,33770	94,33240
5,25	0,51209	— 0,85893	95,28576	95,28051
5,26	0,52065	— 0,85377	96,24334	96,23815
5,27	0,52916	— 0,84852	96,21055	97,20541
5,28	0,53762	— 0,84319	98,18748	98,18239
5,29	0,54602	— 0,83777	99,17423	99,16919
5,30	0,55437	— 0,83227	100,17090	100,16591

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
5,31	0,56267	— 0,82668	101,17759	101,17264
5,32	0,57091	— 0,82101	102,19439	102,18949
5,33	0,57909	— 0,81526	103,22141	103,21657
5,34	0,58721	— 0,80943	104,25875	104,25396
5,35	0,59528	— 0,80352	105,30652	105,30177
5,36	0,60328	— 0,79753	106,36482	106,36012
5,37	0,61123	— 0,79145	107,43376	107,42911
5,38	0,61911	— 0,78530	108,51344	108,50883
5,39	0,62693	— 0,77907	109,60397	109,59941
5,40	0,63469	— 0,77276	110,70547	110,70095
5,41	0,64239	— 0,76638	111,81803	111,81356
5,42	0,65002	— 0,75992	112,94177	112,93735
5,43	0,65759	— 0,75338	114,07681	114,07243
5,44	0,66509	— 0,74677	115,22326	115,21892
5,45	0,67252	— 0,74008	116,38123	116,37693
5,46	0,67989	— 0,73332	117,55084	117,54659
5,47	0,68719	— 0,72648	118,73220	118,72799
5,48	0,69442	— 0,71957	119,92544	119,92127
5,49	0,70158	— 0,71259	121,13067	121,12654
5,50	0,70867	— 0,70554	122,34801	122,34392
5,51	0,71569	— 0,69842	123,57759	123,57354
5,52	0,72264	— 0,69123	124,81952	124,81552
5,53	0,72951	— 0,68397	126,07394	126,06997
5,54	0,73632	— 0,67664	127,34096	127,33704
5,55	0,74305	— 0,66924	128,62072	128,61683
5,56	0,74970	— 0,66178	129,91334	129,90949
5,57	0,75628	— 0,65425	131,21895	131,21514
5,58	0,76279	— 0,64665	132,53769	132,53392
5,59	0,76921	— 0,63899	133,86968	133,86594
5,60	0,77557	— 0,63127	135,21505	135,21135
5,61	0,78184	— 0,62348	136,57395	136,57029
5,62	0,78804	— 0,61563	137,94650	137,94288
5,63	0,79415	— 0,60772	139,33285	139,32926
5,64	0,80019	— 0,59975	140,73314	140,72958
5,65	0,80615	— 0,59172	142,14749	142,14397
5,66	0,81202	— 0,58362	143,57606	143,57258
5,67	0,81782	— 0,57548	145,01899	145,01554
5,68	0,82353	— 0,56727	146,47642	146,47301
5,69	0,82916	— 0,55900	147,94850	147,94512
5,70	0,83471	— 0,55069	149,43537	149,43203
5,71	0,84018	— 0,54231	150,93719	150,93388
5,72	0,84556	— 0,53388	152,45410	152,45082
5,73	0,85086	— 0,52540	153,98626	153,98301
5,74	0,85607	— 0,51687	155,53381	155,53060
5,75	0,86119	— 0,50828	157,09692	157,09374

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
5,76	0,86623	— 0,49964	158,67574	158,67259
5,77	0,87119	— 0,49095	160,27043	160,26731
5,78	0,87605	— 0,48222	161,88114	161,87805
5,79	0,88083	— 0,47343	163,50804	163,50498
5,80	0,88552	— 0,46460	165,15129	165,14827
5,81	0,89012	— 0,45572	166,81106	166,80806
5,82	0,89463	— 0,44680	168,48751	168,48454
5,83	0,89906	— 0,43783	170,18081	170,17787
5,84	0,90339	— 0,42882	171,89112	171,88822
5,85	0,90763	— 0,41976	173,61863	173,61575
5,86	0,91179	— 0,41067	175,36350	175,36065
5,87	0,91585	— 0,40153	177,12590	177,12308
5,88	0,91982	— 0,39235	178,90602	178,90322
5,89	0,92369	— 0,38313	180,70403	180,70126
5,90	0,92748	— 0,37388	182,52010	182,51736
5,91	0,93117	— 0,36458	184,35443	184,35172
5,92	0,93477	— 0,35525	186,20720	186,20451
5,93	0,93828	— 0,34589	188,07859	188,07593
5,94	0,94169	— 0,33649	189,96878	189,96615
5,95	0,94501	— 0,32705	191,87797	191,87537
5,96	0,94823	— 0,31759	193,80635	193,80377
5,97	0,95136	— 0,30809	195,75411	195,75156
5,98	0,95439	— 0,29856	197,72145	197,71892
5,99	0,95733	— 0,28900	199,70856	199,70605
6,00	0,96017	— 0,27942	201,71564	201,71316
6,01	0,96292	— 0,26980	203,74289	203,74043
6,02	0,96557	— 0,26016	205,79051	205,78808
6,03	0,96812	— 0,25049	207,85872	207,85631
6,04	0,97058	— 0,24080	209,94771	209,94533
6,05	0,97294	— 0,23108	212,05769	212,05534
6,06	0,97520	— 0,22134	214,18889	214,18655
6,07	0,97736	— 0,21157	216,34150	216,33919
6,08	0,97943	— 0,20179	218,51574	218,51345
6,09	0,98140	— 0,19199	220,71184	220,70957
6,10	0,98327	— 0,18216	222,93001	222,92776
6,11	0,98504	— 0,17232	225,17047	225,16825
6,12	0,98671	— 0,16246	227,43345	227,43125
6,13	0,98829	— 0,15259	229,71917	229,71699
6,14	0,98977	— 0,14270	232,02786	232,02571
6,15	0,99114	— 0,13279	234,35976	234,35763
6,16	0,99242	— 0,12287	236,71509	236,71298
6,17	0,99360	— 0,11294	239,09410	239,09201
6,18	0,99468	— 0,10300	241,49701	241,49494
6,19	0,99566	— 0,09305	243,92408	243,92203
6,20	0,99654	— 0,08309	246,37554	246,37351

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
6,21	0,99732	— 0,07312	248,85163	248,84962
6,22	0,99800	— 0,06314	251,35261	251,35062
6,23	0,99859	— 0,05316	253,87873	253,87676
6,24	0,99907	— 0,04317	256,43023	256,42828
6,25	0,99945	— 0,03318	259,00738	259,00545
6,26	0,99973	— 0,02318	261,60143	261,60851
6,27	0,99991	— 0,01318	264,23964	264,23774
6,28	0,99999	— 0,00319	266,89527	266,89340
6,29	0,99998	0,00681	269,57759	269,57574
6,30	0,99986	0,01681	272,28687	272,28504
6,31	0,99964	0,02681	275,02338	275,02157
6,32	0,99932	0,03681	277,78740	277,78560
6,33	0,99890	0,04680	280,57919	280,57741
6,34	0,99839	0,05678	283,39904	283,39727
6,35	0,99777	0,06676	286,24723	286,24548
6,36	0,99705	0,07674	289,12404	289,12231
6,37	0,99623	0,08671	292,02977	292,02806
6,38	0,99532	0,09666	294,96470	294,96301
6,39	0,99430	0,10661	297,92913	297,92745
6,40	0,99318	0,11655	300,97335	300,92169
6,41	0,99197	0,12648	303,94766	303,94602
6,42	0,99066	0,13639	307,00287	307,00074
6,43	0,98924	0,14629	310,08778	310,08617
6,44	0,98773	0,15617	313,20420	313,20260
6,45	0,98612	0,16604	316,35194	316,35036
6,46	0,98441	0,17589	319,53131	319,52975
6,47	0,98260	0,18573	322,74284	322,74109
6,48	0,98069	0,19555	325,98624	325,98471
6,49	0,97869	0,20534	329,26244	329,26092
6,50	0,97659	0,21512	332,57157	332,57006
6,51	0,97439	0,22487	335,91395	335,91246
6,52	0,97209	0,23461	339,28993	339,28846
6,53	0,96970	0,24432	342,69984	342,69838
6,54	0,96720	0,25400	346,14401	346,14257
6,55	0,96462	0,26366	349,62280	349,62137
6,56	0,96193	0,27329	353,13656	353,13514
6,57	0,95915	0,28290	356,68562	356,68422
6,58	0,95627	0,29248	360,27036	360,27897
6,59	0,95330	0,30202	363,89112	363,88975
6,60	0,95023	0,31154	367,54827	367,54691
6,61	0,94707	0,32103	371,24218	371,24084
6,62	0,94381	0,33084	374,97322	374,97188
6,63	0,94046	0,33990	378,74175	378,74043
6,64	0,93701	0,34929	382,54815	382,54684
6,65	0,93347	0,35864	386,39281	386,39152

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
6,66	0,92984	0,36796	390,27611	390,27483
6,67	0,92612	0,37724	384,19844	394,19717
6,68	0,92230	0,38648	398,16018	398,15803
6,69	0,91839	0,39569	402,16175	402,16050
6,70	0,91438	0,40485	406,20353	406,20230
6,71	0,91029	0,41397	410,28593	410,28971
6,72	0,90610	0,42306	414,40936	414,40815
6,73	0,90183	0,43210	418,57423	418,57304
6,74	0,89746	0,44109	422,78096	422,77978
6,75	0,89301	0,45004	427,02997	427,02880
6,76	0,88846	0,45895	431,32168	431,32052
6,77	0,88383	0,46781	435,65652	435,65537
6,78	0,87911	0,47663	440,03493	440,03379
6,79	0,87430	0,48539	444,45734	444,45622
6,80	0,86940	0,49411	448,92420	448,92309
6,81	0,86441	0,50278	453,43595	453,43485
6,82	0,85934	0,51140	457,99305	457,99196
6,83	0,85419	0,51997	462,59595	462,59487
6,84	0,84894	0,52848	467,24510	467,24403
6,85	0,84362	0,53695	471,94098	471,93992
6,86	0,83820	0,54536	476,68406	476,68301
6,87	0,83271	0,55371	481,47480	481,47376
6,88	0,82713	0,56201	486,31369	486,31267
6,89	0,82147	0,57025	491,20122	491,20020
6,90	0,81573	0,57844	496,13786	496,13685
6,91	0,80990	0,58657	501,12412	501,12312
6,92	0,80399	0,59464	506,16049	506,15950
6,93	0,79801	0,60265	511,24748	511,24650
6,94	0,79194	0,61060	516,48559	516,48462
6,95	0,78580	0,61849	521,57534	521,57438
6,96	0,77957	0,62631	526,81725	526,81630
6,97	0,77327	0,63408	532,11185	532,11091
6,98	0,76689	0,64178	537,45965	537,45872
6,99	0,76043	0,64941	542,86120	542,86028
7,00	0,75390	0,65699	548,31704	548,31612
7,01	0,74729	0,66449	553,82770	553,82680
7,02	0,74061	0,67193	559,39376	559,39286
7,03	0,73386	0,67930	565,01575	565,01486
7,04	0,72703	0,68661	570,69424	570,69337
7,05	0,72012	0,69384	576,42981	576,42894
7,06	0,71315	0,70101	582,22301	582,22215
7,07	0,70610	0,70811	588,07444	588,07359
7,08	0,69899	0,71513	593,98468	593,98384
7,09	0,69180	0,72209	599,95432	599,95348
7,10	0,68455	0,72897	605,98395	605,98312

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
7,11	0,67722	0,73578	612,07418	612,07336
7,12	0,66983	0,74251	618,22562	618,22481
7,13	0,66237	0,74917	624,43888	624,43808
7,14	0,65485	0,75576	630,71458	630,71380
7,15	0,64726	0,76227	637,05337	637,05259
7,16	0,63960	0,76871	643,45585	643,45508
7,17	0,63188	0,77506	649,92269	649,92192
7,18	0,62410	0,78134	656,45451	656,45375
7,19	0,61626	0,78754	663,05198	663,05123
7,20	0,60835	0,79367	669,71576	669,71501
7,21	0,60038	0,79971	676,44650	676,44576
7,22	0,59236	0,80568	683,24490	683,24416
7,23	0,58427	0,81156	690,11161	690,11089
7,24	0,57613	0,81736	697,04734	697,04663
7,25	0,56792	0,82308	704,05278	704,05207
7,26	0,55967	0,82872	711,12862	711,12792
7,27	0,55135	0,83427	718,27557	718,27488
7,28	0,54298	0,83975	725,49436	725,49367
7,29	0,53456	0,84513	732,78569	732,78501
7,30	0,52608	0,85044	740,15030	740,14963
7,31	0,51755	0,85565	747,58893	747,58826
7,32	0,50896	0,86079	755,10232	755,10165
7,33	0,50033	0,86583	762,69121	762,69056
7,34	0,49165	0,87079	770,35638	770,35573
7,35	0,48292	0,87567	778,09859	778,09794
7,36	0,47414	0,88045	785,91860	785,91796
7,37	0,46531	0,88515	793,81721	793,81658
7,38	0,45643	0,88976	801,79520	801,79457
7,39	0,44751	0,89428	809,85337	809,85275
7,40	0,43855	0,89871	817,99252	817,99191
7,41	0,42954	0,90305	826,21348	826,21287
7,42	0,42049	0,90730	834,51705	834,51645
7,43	0,41139	0,91146	842,90408	842,90349
7,44	0,40226	0,91553	851,37540	851,37482
7,45	0,39308	0,91950	859,93186	859,93128
7,46	0,38387	0,92339	868,57432	868,57374
7,47	0,37462	0,92718	877,30363	877,30306
7,48	0,36532	0,93088	886,12067	886,12011
7,49	0,35600	0,93449	895,02633	895,02577
7,50	0,34664	0,93800	904,02148	904,02093
7,51	0,33724	0,94142	913,10705	913,10650
7,52	0,32781	0,94474	922,28392	922,28338
7,53	0,31834	0,94798	931,55302	931,55248
7,54	0,30885	0,95111	940,91528	940,91475
7,55	0,29932	0,95415	950,37163	950,37110

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
7,56	0,28977	0,95710	959,92302	959,92250
7,57	0,28018	0,95995	969,57040	969,56988
7,58	0,27057	0,96270	979,31474	979,31423
7,59	0,26093	0,96536	989,15701	989,15650
7,60	0,25126	0,96792	999,09820	999,09770
7,61	0,24157	0,97038	1009,13930	1009,13880
7,62	0,23185	0,97275	1019,28131	1019,28082
7,63	0,22211	0,97502	1029,52525	1029,52467
7,64	0,21235	0,97719	1039,87215	1039,87167
7,65	0,20257	0,97927	1050,32303	1050,32256
7,66	0,19277	0,98124	1060,87895	1060,87848
7,67	0,18295	0,98312	1071,54096	1071,54049
7,68	0,17311	0,98490	1082,31012	1082,30965
7,69	0,16325	0,98659	1093,18751	1093,18705
7,70	0,15337	0,98817	1104,17422	1104,17377
7,71	0,14348	0,98965	1115,27135	1115,27090
7,72	0,13358	0,99104	1126,48001	1126,47957
7,73	0,12366	0,99232	1137,80132	1137,80088
7,74	0,11373	0,99351	1149,23641	1149,23597
7,75	0,10379	0,99460	1160,78642	1160,78599
7,76	0,09384	0,99559	1172,45252	1172,45209
7,77	0,08388	0,99648	1184,23586	1184,23543
7,78	0,07391	0,99726	1196,13762	1196,13720
7,79	0,06394	0,99795	1208,15900	1208,15858
7,80	0,05396	0,99854	1220,30119	1220,30078
7,81	0,04397	0,99903	1232,56542	1232,56501
7,82	0,03398	0,99942	1244,95290	1244,95250
7,83	0,02398	0,99971	1257,46489	1257,46449
7,84	0,01398	0,99990	1270,10261	1270,10222
7,85	0,00398	0,99999	1282,86735	1282,86696
7,86	— 0,00602	0,99998	1295,76038	1295,75999
7,87	— 0,01602	0,99987	1308,78299	1308,78260
7,88	— 0,02602	0,99966	1321,93647	1321,93609
7,89	— 0,03601	0,99935	1335,22215	1335,22177
7,90	— 0,04600	0,99894	1348,64135	1348,64098
7,91	— 0,05599	0,99843	1362,19542	1362,19505
7,92	— 0,06597	0,99782	1375,88570	1375,88534
7,93	— 0,07595	0,99711	1389,71358	1389,71322
7,94	— 0,08591	0,99630	1403,68043	1403,68008
7,95	— 0,09587	0,99539	1417,78765	1417,78730
7,96	— 0,10582	0,99439	1432,03665	1432,03630
7,97	— 0,11576	0,99328	1446,42885	1446,42851
7,98	— 0,12569	0,99207	1460,96570	1460,96536
7,99	— 0,13560	0,99076	1475,64865	1475,64831
8,00	— 0,14550	0,98936	1490,47916	1490,47883

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
8,01	— 0,15539	0,98785	1505,45872	1505,45839
8,02	— 0,16526	0,98625	1520,58883	1520,58850
8,03	— 0,17511	0,98455	1535,87100	1535,87067
8,04	— 0,18495	0,98275	1551,30676	1551,30643
8,05	— 0,19477	0,98085	1566,89765	1566,89733
8,06	— 0,20456	0,97885	1582,64523	1582,64491
8,07	— 0,21434	0,97676	1598,55107	1598,55076
8,08	— 0,22410	0,97457	1614,61677	1614,61646
8,09	— 0,23383	0,97228	1630,84394	1630,84363
8,10	— 0,24354	0,96989	1647,23419	1647,23389
8,11	— 0,25323	0,96741	1663,78917	1663,78886
8,12	— 0,26289	0,96483	1680,51052	1680,51022
8,13	— 0,27253	0,96215	1697,39993	1697,39964
8,14	— 0,28213	0,95937	1714,45908	1714,45879
8,15	— 0,29171	0,95651	1731,68968	1731,68939
8,16	— 0,30126	0,95354	1749,09344	1749,09316
8,17	— 0,31078	0,95048	1766,67212	1766,67184
8,18	— 0,32027	0,94733	1789,42747	1789,42719
8,19	— 0,32973	0,94408	1802,36126	1802,36098
8,20	— 0,33915	0,94073	1820,47529	1820,47502
8,21	— 0,34855	0,93729	1838,77137	1838,77110
8,22	— 0,35790	0,93376	1857,25133	1857,25106
8,23	— 0,36722	0,93013	1875,91701	1875,91674
8,24	— 0,37650	0,92642	1894,77029	1894,77002
8,25	— 0,38575	0,92260	1913,81304	1913,84278
8,26	— 0,39495	0,91870	1933,04918	1933,04690
8,27	— 0,40412	0,91471	1952,47462	1952,47437
8,28	— 0,41325	0,91062	1972,09732	1972,09706
8,29	— 0,42233	0,90644	1991,91722	1991,91697
8,30	— 0,43138	0,90217	2011,93632	2011,93607
8,31	— 0,44038	0,89781	2032,15661	2032,15637
8,32	— 0,44933	0,89336	2052,58013	2052,57988
8,33	— 0,45824	0,88883	2073,20890	2073,20866
8,34	— 0,46711	0,88420	2094,04499	2094,04475
8,35	— 0,47593	0,87948	2115,09049	2115,09025
8,36	— 0,48470	0,87468	2136,34750	2136,34727
8,37	— 0,49342	0,86979	2157,81815	2157,81792
8,38	— 0,50209	0,86481	2179,50458	2179,50435
8,39	— 0,51072	0,85975	2201,40896	2201,40873
8,40	— 0,51929	0,85460	2223,53349	2223,53326
8,41	— 0,52781	0,84936	2245,88037	2245,88014
8,42	— 0,53628	0,84404	2268,45184	2268,45162
8,43	— 0,54469	0,83864	2291,25016	2291,24994
8,44	— 0,55305	0,83315	2314,27760	2314,27738
8,45	— 0,56135	0,82758	2337,53647	2337,53626

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
8,46	— 0,56960	0,82192	2361,02910	2361,02889
8,47	— 0,57779	0,81619	2384,75784	2384,75763
8,48	— 0,58592	0,81037	2408,72505	2408,72484
8,49	— 0,59400	0,80447	2432,93314	2432,93293
8,50	— 0,60201	0,79849	2457,38452	2457,38432
8,51	— 0,60997	0,79243	2482,08164	2482,08144
8,52	— 0,61786	0,78629	2507,02698	2507,02678
8,53	— 0,62569	0,78007	2532,22302	2532,22282
8,54	— 0,63346	0,77377	2557,67228	2557,67208
8,55	— 0,64117	0,76740	2583,37731	2583,37712
8,56	— 0,64881	0,76095	2609,34068	2609,34049
8,57	— 0,65639	0,75443	2635,56499	2635,56480
8,58	— 0,66390	0,74782	2662,05286	2662,05267
8,59	— 0,67134	0,74115	2688,80693	2688,80674
8,60	— 0,67872	0,73440	2715,82989	2715,82970
8,61	— 0,68603	0,72757	2743,12443	2743,12425
8,62	— 0,69327	0,72068	2770,69329	2770,69311
8,63	— 0,70044	0,71371	2798,53922	2798,53904
8,64	— 0,70755	0,70667	2826,66500	2826,66482
8,65	— 0,71458	0,69956	2855,07345	2855,07328
8,66	— 0,72154	0,69238	2883,76742	2883,76724
8,67	— 0,72842	0,68513	2912,74976	2912,74959
8,68	— 0,73524	0,67781	2942,02338	2942,02321
8,69	— 0,74198	0,67042	2976,59121	2976,59104
8,70	— 0,74865	0,66297	3001,45619	3001,45603
8,71	— 0,75524	0,66545	3031,62133	3031,62116
8,72	— 0,76176	0,64786	3062,08963	3062,08946
8,73	— 0,76820	0,64021	3092,86414	3092,86397
8,74	— 0,77456	0,63250	3123,94794	3123,94779
8,75	— 0,78085	0,62472	3155,34413	3155,34397
8,76	— 0,78705	0,61688	3187,05587	3187,05571
8,77	— 0,79318	0,60898	3219,08631	3219,08615
8,78	— 0,79923	0,60102	3251,43866	3251,43851
8,79	— 0,80520	0,59300	3284,11616	3284,11601
8,80	— 0,81109	0,58492	3317,12208	3317,12193
8,81	— 0,81690	0,57678	3350,45971	3350,45956
8,82	— 0,82263	0,56858	3384,13239	3384,13224
8,83	— 0,82827	0,56032	3418,14348	3418,14333
8,84	— 0,83383	0,55201	3452,49639	3452,49625
8,85	— 0,83931	0,54365	3487,19456	3487,19441
8,86	— 0,84471	0,53523	3522,24144	3522,24130
8,87	— 0,85002	0,52675	3557,64056	3557,64042
8,88	— 0,85524	0,51823	3593,39544	3593,39530
8,89	— 0,86038	0,50965	3629,50966	3629,50952
8,90	— 0,86544	0,50102	3665,98684	3665,98670

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
8,91	— 0,87040	0,49234	3702,83062	3702,83048
8,92	— 0,87528	0,48361	3740,04468	3740,04455
8,93	— 0,88007	0,47484	3777,63275	3777,63262
8,94	— 0,88478	0,46601	3815,59859	3815,59846
8,95	— 0,88939	0,45714	3853,94600	3853,94587
8,96	— 0,89382	0,44822	3892,67880	3892,67867
8,97	— 0,89836	0,43926	3931,80087	3931,80074
8,98	— 0,90271	0,43026	3971,31612	3971,31599
8,99	— 0,90696	0,42121	4011,22851	4011,22839
9,00	— 0,91113	0,41212	4051,54203	4051,54190
9,01	— 0,91521	0,40299	4092,26070	4092,26058
9,02	— 0,91919	0,39381	4133,38860	4133,38848
9,03	— 0,92308	0,38460	4174,92985	4174,92973
9,04	— 0,92688	0,37535	4216,88859	4216,88847
9,05	— 0,93059	0,36607	4259,26902	4259,26890
9,06	— 0,93420	0,35674	4302,07539	4302,07527
9,07	— 0,93772	0,34738	4345,31197	4345,31185
9,08	— 0,94115	0,33799	4388,98307	4388,98296
9,09	— 0,94448	0,32856	4433,09308	4433,09297
9,10	— 0,94772	0,31910	4477,64641	4477,64630
9,11	— 0,95087	0,30961	4522,64750	4522,64739
9,12	— 0,95391	0,30008	4568,10086	4568,10075
9,13	— 0,95687	0,29053	4614,01104	4614,01093
9,14	— 0,95972	0,28094	4660,38262	4660,38251
9,15	— 0,96249	0,27133	4707,22024	4707,22014
9,16	— 0,96515	0,26169	4754,52859	4754,52849
9,17	— 0,96772	0,25203	4802,31240	4802,31229
9,18	— 0,97019	0,24234	4850,57644	4850,57633
9,19	— 0,97257	0,23263	4899,32554	4899,32544
9,20	— 0,97484	0,22289	4948,56458	4948,56448
9,21	— 0,97702	0,21313	4998,29848	4998,29838
9,22	— 0,97911	0,20335	5048,53221	5048,53211
9,23	— 0,98109	0,19355	5099,27080	5099,27071
9,24	— 0,98298	0,18373	5150,51933	5150,51923
9,25	— 0,98477	0,17389	5202,28291	5202,28281
9,26	— 0,98645	0,16403	5254,56672	5254,56662
9,27	— 0,98805	0,15416	5307,37599	5307,37590
9,28	— 0,98954	0,14427	5360,71600	5360,71591
9,29	— 0,99093	0,13437	5414,59210	5414,59200
9,30	— 0,99223	0,12445	5469,00965	5469,00956
9,31	— 0,99342	0,11453	5523,97411	5523,97402
9,32	— 0,99452	0,10459	5579,49097	5579,49088
9,33	— 0,99551	0,09464	5635,56579	5635,56570
9,34	— 0,99641	0,08468	5692,20416	5692,20408
9,35	— 0,99721	0,07471	5749,41177	5749,41168

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
9,36	— 0,99790	0,06473	5807,19431	5807,19423
9,37	— 0,99850	0,05475	5860,55759	5860,55750
9,38	— 0,99900	0,04476	5924,50742	5924,50733
9,39	— 0,99940	0,03477	5984,04971	5984,04962
9,40	— 0,99969	0,02478	6044,19041	6044,19032
9,41	— 0,99989	0,01478	6104,93553	6104,93545
9,42	— 0,99999	0,00478	6166,29115	6166,29107
9,43	— 0,99999	— 0,00522	6228,26341	6228,26333
9,44	— 0,99988	— 0,01522	6290,85849	6290,85841
9,45	— 0,99968	— 0,02522	6354,08267	6354,08259
9,46	— 0,99938	— 0,03521	6417,94226	6417,94218
9,47	— 0,99898	— 0,04521	6482,44365	6482,44358
9,48	— 0,99848	— 0,05519	6547,59330	6547,59322
9,49	— 0,99787	— 0,06518	6613,39770	6613,39763
9,50	— 0,99717	— 0,07515	6679,86345	6679,86338
9,51	— 0,99637	— 0,08512	6746,99720	6746,99712
9,52	— 0,99547	— 0,09508	6814,80564	6814,80557
9,53	— 0,99447	— 0,10503	6883,29558	6883,29551
9,54	— 0,99337	— 0,11497	6952,47385	6952,47378
9,55	— 0,99217	— 0,12490	7022,34737	7022,34730
9,56	— 0,99087	— 0,13481	7092,92314	7092,92306
9,57	— 0,98947	— 0,14471	7164,20820	7164,20813
9,58	— 0,98798	— 0,15460	7236,20969	7236,20962
9,59	— 0,98638	— 0,16447	7308,93480	7308,93473
9,60	— 0,98469	— 0,17433	7382,39082	7382,39075
9,61	— 0,98290	— 0,18416	7456,58508	7456,58501
9,62	— 0,98100	— 0,19398	7531,52500	7531,52494
9,63	— 0,97902	— 0,20378	7607,21809	7607,21802
9,64	— 0,97693	— 0,21356	7683,67190	7683,67183
9,65	— 0,97474	— 0,22332	7760,89408	7760,89402
9,66	— 0,97246	— 0,23306	7838,89237	7838,89230
9,67	— 0,97008	— 0,24277	7917,67454	7917,67448
9,68	— 0,96761	— 0,25246	7997,24849	7997,24843
9,69	— 0,96503	— 0,26212	8077,62217	8077,62211
9,70	— 0,96236	— 0,27176	8158,80363	8158,80357
9,71	— 0,95960	— 0,28137	8240,80097	8240,80091
9,72	— 0,95674	— 0,29095	8323,62239	8323,62233
9,73	— 0,95378	— 0,30050	8407,27619	8407,27613
9,74	— 0,95073	— 0,31003	8491,77072	8491,77066
9,75	— 0,94758	— 0,31952	8577,11443	8577,11438
9,76	— 0,94434	— 0,32898	8663,31587	8663,31581
9,77	— 0,94100	— 0,33841	8750,38364	8750,38358
9,78	— 0,93757	— 0,34780	8838,32645	8838,32640
9,79	— 0,93404	— 0,35716	8927,15311	8927,15306
9,80	— 0,93043	— 0,36648	9016,87249	9016,87244

φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\cos h \varphi$	$\sin h \varphi$
9,81	— 0,92672	— 0,37576	9107,49357	9107,49351
9,82	— 0,92291	— 0,38501	9199,02540	9199,02534
9,83	— 0,91901	— 0,39422	9291,47714	9291,47709
9,84	— 0,91503	— 0,40339	9384,85804	9384,85798
9,85	— 0,91095	— 0,41252	9479,17743	9479,11737
9,86	— 0,90678	— 0,42161	9574,44474	9574,44469
9,87	— 0,90252	— 0,43066	9670,66951	9670,66946
9,88	— 0,89816	— 0,43966	9767,86136	9767,86131
9,89	— 0,89372	— 0,44862	9866,02999	9866,02994
9,90	— 0,88919	— 0,45754	9965,18524	9965,18519
9,91	— 0,88457	— 0,46640	10065,33702	10065,33697
9,92	— 0,87986	— 0,47523	10166,49534	10166,49529
9,93	— 0,87507	— 0,48400	10268,67032	10268,67027
9,94	— 0,87018	— 0,49273	10371,87217	10371,87212
9,95	— 0,86521	— 0,50141	10476,11121	10476,11117
9,96	— 0,86016	— 0,51003	10581,39788	10581,39784
9,97	— 0,85501	— 0,51861	10687,74270	10687,74265
9,98	— 0,84878	— 0,52713	10795,15630	10795,15625
9,99	— 0,84447	— 0,53560	10903,64942	10903,64938
10,00	— 0,83907	— 0,54402	11013,23292	11013,23287

§ 22. Таблицы функций C_φ , C'_φ , C''_φ и C'''_φ для аргументов от $\varphi=0$ до $\varphi=6,28$.

φ	C_φ	C'_φ	C''_φ	C'''_φ
0,00	1,000	0,000	0,000	0,000
0,01	1,000	0,000	0,000	— 0,040
0,02	1,000	0,000	— 0,001	— 0,080
0,03	1,000	0,000	— 0,002	— 0,120
0,04	1,000	0,000	— 0,003	— 0,160
0,05	1,000	0,000	— 0,005	— 0,200
0,06	1,000	0,000	— 0,007	— 0,240
0,07	1,000	0,000	— 0,010	— 0,280
0,08	1,000	0,000	— 0,013	— 0,320
0,09	1,000	— 0,001	— 0,016	— 0,360
0,10	1,000	— 0,001	— 0,020	— 0,400
0,11	1,000	— 0,001	— 0,024	— 0,440
0,12	1,000	— 0,001	— 0,029	— 0,480
0,13	1,000	— 0,001	— 0,034	— 0,520
0,14	1,000	— 0,002	— 0,039	— 0,550
0,15	1,000	— 0,002	— 0,045	— 0,600
0,16	1,000	— 0,003	— 0,051	— 0,640
0,17	1,000	— 0,003	— 0,058	— 0,680
0,18	1,000	— 0,004	— 0,065	— 0,720
0,19	1,000	— 0,005	— 0,072	— 0,760
0,20	1,000	— 0,005	— 0,080	— 0,800
0,21	1,000	— 0,006	— 0,088	— 0,840
0,22	1,000	— 0,007	— 0,096	— 0,880
0,23	1,000	— 0,008	— 0,106	— 0,920
0,24	1,000	— 0,009	— 0,115	— 0,960
0,25	0,999	— 0,010	— 0,125	— 1,000
0,26	0,999	— 0,012	— 0,135	— 1,040
0,27	0,999	— 0,013	— 0,146	— 1,080
0,28	0,999	— 0,015	— 0,157	— 1,120
0,29	0,999	— 0,016	— 0,168	— 1,160
0,30	0,999	— 0,018	— 0,180	— 1,200
0,31	0,999	— 0,020	— 0,192	— 1,240
0,32	0,998	— 0,022	— 0,205	— 1,280
0,33	0,998	— 0,024	— 0,218	— 1,319
0,34	0,998	— 0,026	— 0,231	— 1,359
0,35	0,998	— 0,029	— 0,245	— 1,399
0,36	0,997	— 0,031	— 0,259	— 1,439
0,37	0,997	— 0,034	— 0,274	— 1,479
0,38	0,997	— 0,037	— 0,289	— 1,519
0,39	0,996	— 0,040	— 0,304	— 1,559
0,40	0,995	— 0,043	— 0,320	— 1,599

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
0,41	0,995	-0,046	-0,333	-1,638
0,42	0,995	-0,049	-0,353	-1,678
0,43	0,994	-0,053	-0,370	-1,718
0,44	0,994	-0,057	-0,387	-1,758
0,45	0,993	-0,061	-0,405	-1,798
0,46	0,993	-0,065	-0,423	-1,837
0,47	0,992	-0,069	-0,442	-1,877
0,48	0,991	-0,074	-0,461	-1,916
0,49	0,990	-0,079	-0,480	-1,956
0,50	0,990	-0,083	-0,500	-1,996
0,51	0,989	-0,089	-0,520	-2,035
0,52	0,988	-0,094	-0,540	-2,075
0,53	0,987	-0,099	-0,561	-2,114
0,54	0,986	-0,105	-0,583	-2,154
0,55	0,985	-0,111	-0,604	-2,193
0,56	0,984	-0,117	-0,627	-2,233
0,57	0,983	-0,123	-0,649	-2,272
0,58	0,981	-0,130	-0,672	-2,311
0,59	0,980	-0,137	-0,695	-2,350
0,60	0,978	-0,144	-0,719	-2,390
0,61	0,977	-0,151	-0,743	-2,429
0,62	0,975	-0,159	-0,768	-2,468
0,63	0,974	-0,167	-0,792	-2,507
0,64	0,972	-0,175	-0,818	-2,546
0,65	0,970	-0,183	-0,843	-2,585
0,66	0,968	-0,192	-0,869	-2,623
0,67	0,966	-0,200	-0,896	-2,662
0,68	0,964	-0,210	-0,923	-2,701
0,69	0,962	-0,219	-0,950	-2,739
0,70	0,960	-0,228	-0,977	-2,778
0,71	0,958	-0,238	-1,005	-2,816
0,72	0,955	-0,249	-1,034	-2,854
0,73	0,953	-0,259	-1,062	-2,892
0,74	0,950	-0,270	-1,092	-2,930
0,75	0,947	-0,281	-1,121	-2,968
0,76	0,944	-0,292	-1,151	-3,006
0,77	0,942	-0,304	-1,181	-3,044
0,78	0,938	-0,316	-1,212	-3,082
0,79	0,935	-0,328	-1,243	-3,119
0,80	0,932	-0,341	-1,274	-3,156
0,81	0,928	-0,354	-1,306	-3,194
0,82	0,925	-0,367	-1,338	-3,231
0,83	0,921	-0,380	-1,371	-3,267
0,84	0,917	-0,394	-1,403	-3,304
0,85	0,913	-0,408	-1,437	-3,341

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
0,86	0,909	-0,423	-1,470	-3,377
0,87	0,905	-0,438	-1,504	-3,414
0,88	0,900	-0,453	-1,538	-3,450
0,89	0,896	-0,469	-1,573	-3,486
0,90	0,893	-0,485	-1,608	-3,521
0,91	0,886	-0,501	-1,644	-3,557
0,92	0,881	-0,517	-1,679	-3,592
0,93	0,875	-0,534	-1,715	-3,627
0,94	0,870	-0,552	-1,752	-3,662
0,95	0,865	-0,569	-1,789	-3,697
0,96	0,859	-0,588	-1,826	-3,731
0,97	0,853	-0,606	-1,863	-3,766
0,98	0,847	-0,625	-1,901	-3,800
0,99	0,841	-0,634	-1,939	-3,814
1,00	0,834	-0,664	-1,978	-3,867
1,01	0,827	-0,683	-2,017	-3,900
1,02	0,820	-0,704	-2,056	-3,933
1,03	0,813	-0,725	-2,095	-3,966
1,04	0,806	-0,746	-2,135	-3,998
1,05	0,798	-0,767	-2,175	-4,030
1,06	0,790	-0,789	-2,216	-4,062
1,07	0,782	-0,812	-2,256	-4,093
1,08	0,774	-0,834	-2,298	-4,124
1,09	0,766	-0,858	-2,339	-4,155
1,10	0,757	-0,881	-2,381	-4,186
1,11	0,748	-0,905	-2,423	-4,216
1,12	0,739	-0,929	-2,465	-4,245
1,13	0,729	-0,954	-2,508	-4,275
1,14	0,720	-0,980	-2,551	-4,304
1,15	0,710	-1,005	-2,594	-4,332
1,16	0,700	-1,032	-2,637	-4,361
1,17	0,689	-1,058	-2,681	-4,388
1,18	0,678	-1,085	-2,725	-4,416
1,19	0,667	-1,113	-2,769	-4,443
1,20	0,656	-1,141	-2,814	-4,469
1,21	0,645	-1,169	-2,859	-4,495
1,22	0,633	-1,199	-2,904	-4,522
1,23	0,621	-1,227	-2,949	-4,546
1,24	0,608	-1,257	-2,995	-4,570
1,25	0,596	-1,287	-3,040	-4,594
1,26	0,582	-1,318	-3,086	-4,618
1,27	0,569	-1,349	-3,133	-4,641
1,28	0,556	-1,380	-3,179	-4,664
1,29	0,542	-1,412	-3,226	-4,685
1,30	0,527	-1,445	-3,273	-4,707

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
1,31	0,513	— 1,478	— 3,320	— 4,728
1,32	0,498	— 1,511	— 3,368	— 4,748
1,33	0,482	— 1,545	— 3,415	— 4,767
1,34	0,467	— 1,579	— 3,463	— 4,786
1,35	0,451	— 1,614	— 3,511	— 4,805
1,36	0,435	— 1,650	— 3,559	— 4,823
1,37	0,418	— 1,686	— 3,607	— 4,839
1,38	0,401	— 1,722	— 3,656	— 4,856
1,39	0,383	— 1,759	— 3,704	— 4,872
1,40	0,366	— 1,796	— 3,753	— 4,887
1,41	0,347	— 1,834	— 3,802	— 4,901
1,42	0,329	— 1,872	— 3,851	— 4,914
1,43	0,310	— 1,911	— 3,900	— 4,927
1,44	0,291	— 1,953	— 3,906	— 4,933
1,45	0,271	— 1,990	— 3,999	— 4,950
1,46	0,251	— 2,030	— 4,049	— 4,951
1,47	0,230	— 2,071	— 4,098	— 4,970
1,48	0,210	— 2,112	— 4,148	— 4,979
1,49	0,188	— 2,154	— 4,198	— 4,987
1,50	0,166	— 2,196	— 4,248	— 4,994
1,51	0,144	— 2,239	— 4,298	— 5,000
1,52	0,122	— 2,282	— 4,348	— 5,006
1,53	0,099	— 2,326	— 4,398	— 5,010
1,54	0,075	— 2,370	— 4,448	— 5,014
1,55	0,051	— 2,415	— 4,498	— 5,016
1,56	0,027	— 2,460	— 4,548	— 5,018
1,57	0,002	— 2,506	— 4,599	— 5,018
1,58	— 0,023	— 2,552	— 4,649	— 5,018
1,59	— 0,049	— 2,599	— 4,699	— 5,017
1,60	— 0,075	— 2,646	— 4,749	— 5,014
1,61	— 0,102	— 2,693	— 4,799	— 5,010
1,62	— 0,129	— 2,742	— 4,849	— 5,006
1,63	— 0,157	— 2,791	— 4,899	— 5,000
1,64	— 0,185	— 2,840	— 4,949	— 4,993
1,65	— 0,214	— 2,890	— 4,999	— 4,985
1,66	— 0,243	— 2,940	— 5,049	— 4,976
1,67	— 0,272	— 2,990	— 5,099	— 4,966
1,68	— 0,303	— 3,042	— 5,148	— 4,954
1,69	— 0,333	— 3,093	— 5,198	— 4,942
1,70	— 0,364	— 3,146	— 5,247	— 4,928
1,71	— 0,396	— 3,198	— 5,296	— 4,913
1,72	— 0,428	— 3,252	— 5,345	— 4,896
1,73	— 0,461	— 3,305	— 5,394	— 4,878
1,74	— 0,495	— 3,359	— 5,443	— 4,859
1,75	— 0,528	— 3,414	— 5,491	— 4,839

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
1,76	— 0,563	— 3,469	— 5,540	— 4,817
1,77	— 0,568	— 3,523	— 5,588	— 4,794
1,78	— 0,633	— 3,581	— 5,636	— 4,769
1,79	— 0,669	— 3,638	— 5,683	— 4,743
1,80	— 0,706	— 3,695	— 5,730	— 4,715
1,81	— 0,743	— 3,752	— 5,777	— 4,686
1,82	— 0,781	— 3,810	— 5,824	— 4,656
1,83	— 0,820	— 3,869	— 5,871	— 4,624
1,84	— 0,858	— 3,928	— 5,917	— 4,590
1,85	— 0,898	— 3,987	— 5,962	— 4,555
1,86	— 0,938	— 4,047	— 6,008	— 4,519
1,87	— 0,979	— 4,107	— 6,053	— 4,480
1,88	— 1,020	— 4,168	— 6,097	— 4,440
1,89	— 1,062	— 4,229	— 6,142	— 4,399
1,90	— 1,105	— 4,291	— 6,185	— 4,355
1,91	— 1,148	— 4,353	— 6,229	— 4,310
1,92	— 1,192	— 4,415	— 6,272	— 4,263
1,93	— 1,236	— 4,478	— 6,314	— 4,215
1,94	— 1,282	— 4,542	— 6,356	— 4,164
1,95	— 1,327	— 4,605	— 6,397	— 4,112
1,96	— 1,374	— 4,670	— 6,438	— 4,058
1,97	— 1,421	— 4,734	— 6,478	— 4,003
1,98	— 1,468	— 4,799	— 6,518	— 3,945
1,99	— 1,517	— 4,865	— 6,557	— 3,885
2,00	— 1,566	— 4,930	— 6,596	— 3,823
2,01	— 1,615	— 4,996	— 6,634	— 3,760
2,02	— 1,666	— 5,063	— 6,671	— 3,694
2,03	— 1,717	— 5,130	— 6,708	— 3,626
2,04	— 1,768	— 5,197	— 6,744	— 3,557
2,05	— 1,821	— 5,265	— 6,779	— 3,485
2,06	— 1,873	— 5,333	— 6,813	— 3,411
2,07	— 1,927	— 5,401	— 6,847	— 3,335
2,08	— 1,982	— 5,470	— 6,880	— 3,257
2,09	— 2,037	— 5,539	— 6,912	— 3,176
2,10	— 2,092	— 5,608	— 6,943	— 3,094
2,11	— 2,149	— 5,677	— 6,974	— 3,009
2,12	— 2,206	— 5,747	— 7,004	— 2,922
2,13	— 2,264	— 5,818	— 7,032	— 2,833
2,14	— 2,322	— 5,888	— 7,060	— 2,741
2,15	— 2,381	— 5,959	— 7,087	— 2,647
2,16	— 2,441	— 6,030	— 7,113	— 2,550
2,17	— 2,502	— 6,101	— 7,138	— 2,452
2,18	— 2,563	— 6,172	— 7,162	— 2,350
2,19	— 2,625	— 6,244	— 7,185	— 2,246
2,20	— 2,688	— 6,316	— 7,207	— 2,140

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
2,21	-2,752	-6,388	-7,228	-2,031
2,22	-2,816	-6,461	-7,248	-1,920
2,23	-2,881	-6,533	-7,266	-1,806
2,24	-2,947	-6,606	-7,284	-1,689
2,25	-3,013	-6,679	-7,300	-1,570
2,26	-3,080	-6,752	-7,315	-1,448
2,27	-3,148	-6,825	-7,329	-1,324
2,28	-3,217	-6,899	-7,342	-1,197
2,29	-3,286	-6,972	-7,353	-1,067
2,30	-3,356	-7,046	-7,363	-0,934
2,31	-3,427	-7,119	-7,372	-0,798
2,32	-3,499	-7,193	-7,379	-0,659
2,33	-3,571	-7,267	-7,385	-0,518
2,34	-3,644	-7,341	-7,389	-0,374
2,35	-3,718	-7,415	-7,392	-0,227
2,36	-3,792	-7,489	-7,394	-0,076
2,37	-3,868	-7,563	-7,394	0,077
2,38	-3,944	-7,637	-7,392	0,233
2,39	-4,020	-7,710	-7,389	0,392
2,40	-4,098	-7,784	-7,384	0,554
2,41	-4,176	-7,858	-7,378	0,720
2,42	-4,255	-7,932	-7,370	0,888
2,43	-4,335	-8,005	-7,360	1,060
2,44	-4,415	-8,079	-7,349	1,235
2,45	-4,496	-8,152	-7,336	1,414
2,46	-4,578	-8,226	-7,321	1,595
2,47	-4,661	-8,299	-7,304	1,780
2,48	-4,744	-8,372	-7,285	1,968
2,49	-4,828	-8,445	-7,264	2,159
2,50	-4,913	-8,517	-7,242	2,354
2,51	-4,998	-8,589	-7,217	2,552
2,52	-5,085	-8,661	-7,191	2,754
2,53	-5,172	-8,733	-7,162	2,959
2,54	-5,259	-8,805	-7,132	3,168
2,55	-5,348	-8,876	-7,099	3,380
2,56	-5,437	-8,947	-7,064	3,596
2,57	-5,527	-9,017	-7,027	3,815
2,58	-5,617	-9,087	-6,988	4,038
2,59	-5,708	-9,157	-6,946	4,264
2,60	-5,800	-9,226	-6,902	4,494
2,61	-5,893	-9,295	-6,856	4,728
2,62	-5,986	-9,363	-6,808	4,966
2,63	-6,080	-9,431	-6,757	5,207
2,64	-6,175	-9,498	-6,704	5,452
2,65	-6,270	-9,565	-6,648	5,701

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
2,66	— 6,366	— 9,631	— 6,589	5,954
2,67	— 6,463	— 9,697	— 6,529	6,211
2,68	— 6,560	— 9,762	— 6,465	6,471
2,69	— 6,658	— 9,826	— 6,411	6,735
2,70	— 6,757	— 9,890	— 6,331	7,004
2,71	— 6,856	— 9,953	— 6,259	7,276
2,72	— 6,956	— 10,015	— 6,185	7,552
2,73	— 7,056	— 10,077	— 6,108	7,833
2,74	— 7,157	— 10,137	— 6,028	8,117
2,75	— 7,259	— 10,197	— 5,946	8,405
2,76	— 7,361	— 10,256	— 5,860	8,697
2,77	— 7,464	— 10,314	— 5,772	8,994
2,78	— 7,567	— 10,371	— 5,680	9,294
2,79	— 7,671	— 10,428	— 5,586	9,599
2,80	— 7,776	— 10,483	— 5,488	9,908
2,81	— 7,881	— 10,538	— 5,388	10,221
2,82	— 7,987	— 10,591	— 5,284	10,539
2,83	— 8,093	— 10,643	— 5,177	10,860
2,84	— 8,200	— 10,694	— 5,067	11,186
2,85	— 8,307	— 10,745	— 4,953	11,516
2,86	— 8,414	— 10,794	— 4,836	11,851
2,87	— 8,523	— 10,841	— 4,716	12,189
2,88	— 8,631	— 10,888	— 4,593	12,532
2,89	— 8,740	— 10,933	— 4,466	12,880
2,90	— 8,847	— 10,977	— 4,335	13,232
2,91	— 8,960	— 11,020	— 4,201	13,588
2,92	— 9,070	— 11,061	— 4,063	13,949
2,93	— 9,181	— 11,101	— 3,922	14,313
2,94	— 9,292	— 11,140	— 3,777	14,683
2,95	— 9,404	— 11,177	— 3,628	15,057
2,96	— 9,516	— 11,212	— 3,476	15,435
2,97	— 9,628	— 11,246	— 3,319	15,818
2,98	— 9,741	— 11,279	— 3,159	16,205
2,99	— 9,854	— 11,309	— 2,995	16,597
3,00	— 9,967	— 11,338	— 2,827	16,994
3,01	— 10,080	— 11,366	— 2,655	17,395
3,02	— 10,194	— 11,392	— 2,479	17,800
3,03	— 10,308	— 11,415	— 2,299	18,210
3,04	— 10,423	— 11,437	— 2,115	18,625
3,05	— 10,532	— 11,458	— 1,927	19,044
3,06	— 10,652	— 11,476	— 1,734	19,468
3,07	— 10,767	— 11,492	— 1,538	19,896
3,08	— 10,882	— 11,507	— 1,336	20,329
3,09	— 10,997	— 11,519	— 1,131	20,767
3,10	— 11,112	— 11,529	— 0,921	21,209

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
3,11	— 11,227	— 11,537	— 0,707	21,656
3,12	— 11,343	— 11,543	— 0,488	22,107
3,13	— 11,458	— 11,547	— 0,265	22,563
3,14	— 11,574	— 11,549	— 0,037	23,024
3,15	— 11,689	— 11,548	0,196	23,489
3,16	— 11,805	— 11,545	0,433	23,959
3,17	— 11,920	— 11,539	0,675	24,433
3,18	— 12,035	— 11,531	0,922	24,912
3,19	— 12,151	— 11,521	1,173	25,396
3,20	— 12,266	— 11,503	1,430	25,884
3,21	— 12,381	— 11,492	1,691	26,377
3,22	— 12,496	— 11,474	1,957	26,875
3,23	— 12,610	— 11,453	2,228	27,377
3,24	— 12,737	— 11,429	2,505	27,884
3,25	— 12,839	— 11,403	2,786	28,395
3,26	— 12,953	— 11,374	3,073	28,911
3,27	— 13,066	— 11,342	3,364	29,431
3,28	— 13,180	— 11,306	3,661	29,956
3,29	— 13,292	— 11,268	3,963	30,485
3,30	— 13,405	— 11,227	4,271	31,020
3,31	— 13,517	— 11,183	4,584	31,558
3,32	— 13,629	— 11,135	4,902	32,101
3,33	— 13,740	— 11,085	5,226	32,648
3,34	— 13,850	— 11,031	5,555	33,200
3,35	— 13,960	— 10,974	5,890	33,756
3,36	— 14,070	— 10,913	6,231	34,317
3,37	— 14,178	— 10,849	6,576	34,882
3,38	— 14,287	— 10,781	6,928	35,451
3,39	— 14,394	— 10,710	7,285	36,025
3,40	— 14,501	— 10,636	7,648	36,603
3,41	— 14,607	— 10,557	8,018	37,185
3,42	— 14,712	— 10,475	8,392	37,771
3,43	— 14,816	— 10,390	8,773	38,362
3,44	— 14,920	— 10,300	9,160	38,957
3,45	— 15,022	— 10,206	9,552	39,555
3,46	— 15,124	— 10,109	9,950	40,158
3,47	— 15,224	— 10,007	10,355	40,765
3,48	— 15,324	— 9,902	10,766	41,376
3,49	— 15,422	— 9,792	11,183	41,990
3,50	— 15,520	— 9,678	11,606	42,610
3,51	— 15,616	— 9,560	12,035	43,232
3,52	— 15,711	— 9,437	12,470	43,859
3,53	— 15,805	— 9,310	12,912	44,489
3,54	— 15,897	— 9,179	13,360	45,123
3,55	— 15,988	— 9,043	13,815	45,761

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
3,56	— 16,073	— 8,903	14,276	46,403
3,57	— 16,166	— 8,758	14,743	47,047
3,58	— 16,253	— 8,608	15,216	47,696
3,59	— 16,338	— 8,453	15,697	48,348
3,60	— 16,422	— 8,294	16,183	49,003
3,61	— 16,504	— 8,130	16,677	49,662
3,62	— 16,585	— 7,960	17,177	50,323
3,63	— 16,663	— 7,786	17,683	50,988
3,64	— 16,741	— 7,607	18,196	51,657
3,65	— 16,816	— 7,422	18,716	52,327
3,66	— 16,889	— 7,232	19,243	53,002
3,67	— 16,960	— 7,037	19,776	53,678
3,68	— 17,030	— 6,837	20,317	54,358
3,69	— 17,097	— 6,802	20,864	54,698
3,70	— 17,162	— 6,419	21,417	55,726
3,71	— 17,225	— 6,203	21,978	56,414
3,72	— 17,286	— 5,900	22,546	57,104
3,73	— 17,345	— 5,752	23,120	57,797
3,74	— 17,402	— 5,517	23,702	58,491
3,75	— 17,455	— 5,288	24,290	59,189
3,76	— 17,507	— 5,032	24,885	59,888
3,77	— 17,556	— 4,760	25,488	60,589
3,78	— 17,602	— 4,522	26,097	61,293
3,79	— 17,646	— 4,258	26,714	61,998
3,80	— 17,688	— 3,988	27,337	62,704
3,81	— 17,726	— 3,711	27,968	63,412
3,82	— 17,762	— 3,424	28,605	64,122
3,83	— 17,795	— 3,139	29,250	64,833
3,84	— 17,825	— 2,843	29,902	65,546
3,85	— 17,851	— 2,541	30,561	66,259
3,86	— 17,875	— 2,232	31,227	66,973
3,87	— 17,896	— 1,916	31,900	67,689
3,88	— 17,914	— 1,594	32,581	68,405
3,89	— 17,928	— 1,265	33,268	69,122
3,90	— 17,939	— 0,928	33,964	69,839
3,91	— 17,946	— 0,585	34,665	70,557
3,92	— 17,950	— 0,235	35,375	71,275
3,93	— 17,951	0,122	36,091	71,993
3,94	— 17,948	0,487	36,815	72,711
3,95	— 17,941	0,859	37,545	73,429
3,96	— 17,931	1,238	38,283	74,146
3,97	— 17,917	1,624	39,028	74,863
3,98	— 17,898	2,018	39,780	75,580
3,99	— 17,876	2,420	40,540	76,295
4,00	— 17,850	2,829	41,306	77,010

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
4,01	— 17,817	3,246	42,080	77,723
4,02	— 17,785	3,671	42,860	78,435
4,03	— 17,746	4,103	43,649	79,146
4,04	— 17,703	4,544	44,444	79,855
4,05	— 17,655	4,992	45,246	80,562
4,06	— 17,603	5,449	46,055	81,268
4,07	— 17,546	5,913	46,871	81,970
4,08	— 17,485	6,386	47,694	82,671
4,09	— 17,419	6,867	48,524	83,369
4,10	— 17,347	7,357	49,362	84,064
4,11	— 17,271	7,854	50,205	84,756
4,12	— 17,190	8,361	51,057	85,446
4,13	— 17,104	8,876	51,911	86,132
4,14	— 17,013	9,399	52,779	86,814
4,15	— 16,916	9,931	53,651	87,492
4,16	— 16,814	10,472	54,529	88,167
4,17	— 16,706	11,022	55,414	88,838
4,18	— 16,593	11,581	56,306	89,504
4,19	— 16,475	12,148	57,204	90,165
4,20	— 16,351	12,725	58,109	90,822
4,21	— 16,220	13,310	59,020	91,473
4,22	— 16,084	13,905	59,939	92,119
4,23	— 15,942	14,509	60,863	92,760
4,24	— 15,794	15,122	61,793	93,394
4,25	— 15,640	15,745	62,731	94,023
4,26	— 15,479	16,377	63,675	94,646
4,27	— 15,312	17,018	64,624	95,261
4,28	— 15,139	17,670	65,580	95,871
4,29	— 14,959	18,330	66,541	96,472
4,30	— 14,772	19,000	67,509	97,067
4,31	— 14,579	19,680	68,483	97,654
4,32	— 14,379	20,370	69,462	98,234
4,33	— 14,171	21,069	70,447	98,805
4,34	— 13,957	21,779	71,438	99,367
4,35	— 13,736	22,498	72,434	99,921
4,36	— 13,507	23,228	73,436	100,465
4,37	— 13,271	23,966	74,444	101,000
4,38	— 13,028	24,717	75,457	101,527
4,39	— 12,777	25,476	76,474	102,043
4,40	— 12,518	26,246	77,497	102,549
4,41	— 12,252	27,026	78,525	103,045
4,42	— 11,978	27,817	79,550	103,529
4,43	— 11,663	28,617	80,595	104,003
4,44	— 11,405	29,428	81,638	104,464
4,45	— 11,107	30,207	82,685	104,829

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
4,46	— 10,800	31,082	83,736	105,354
4,47	— 10,485	31,925	84,792	105,779
4,48	— 10,162	32,778	85,852	106,192
4,49	— 9,830	33,642	86,915	106,592
4,50	— 9,489	34,516	87,984	106,979
4,51	— 9,139	35,401	89,055	107,351
4,52	— 8,781	36,298	90,131	107,709
4,53	— 8,413	37,204	91,209	108,053
4,54	— 8,037	38,122	92,292	108,383
4,55	— 7,651	39,050	93,377	108,696
4,56	— 7,256	39,989	94,465	108,994
4,57	— 6,851	40,939	95,557	109,277
4,58	— 6,437	41,900	96,651	109,542
4,59	— 6,013	42,872	97,748	109,791
4,60	— 5,579	43,855	98,847	110,023
4,61	— 5,136	44,849	99,948	110,237
4,62	— 4,824	45,854	101,052	110,434
4,63	— 4,219	46,870	102,157	110,612
4,64	— 3,745	47,897	103,263	110,771
4,65	— 3,261	48,935	104,371	110,911
4,66	— 2,766	49,985	105,482	111,032
4,67	— 2,261	51,045	106,592	111,132
4,68	— 1,745	52,117	107,705	111,213
4,69	— 1,219	53,199	108,817	111,272
4,70	— 0,681	54,293	109,929	111,310
4,71	— 0,133	55,398	111,043	111,327
4,72	0,427	56,514	112,156	111,320
4,73	0,998	57,641	113,269	111,291
4,74	1,580	58,779	114,382	111,240
4,75	2,173	59,928	115,494	111,165
4,76	2,778	61,089	116,605	111,067
4,77	3,395	62,261	117,714	110,943
4,78	4,024	63,444	118,824	110,795
4,79	4,664	64,637	119,931	110,621
4,80	5,316	65,842	121,036	110,421
4,81	5,981	67,058	122,139	110,195
4,82	6,657	68,285	123,241	109,944
4,83	7,347	69,523	124,338	109,662
4,84	8,048	70,771	125,433	109,356
4,85	8,762	72,032	126,525	109,019
4,86	9,489	73,303	127,614	108,654
4,87	10,228	74,584	128,699	108,260
4,88	10,981	75,876	129,779	107,835
4,89	11,746	77,179	130,855	107,381
4,90	12,524	78,493	131,926	106,895

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
4,91	13,316	79,818	132,993	106,378
4,92	14,120	81,153	134,054	105,831
4,93	14,939	82,499	135,109	105,249
4,94	15,770	83,855	136,159	104,635
4,95	16,616	85,221	137,201	103,987
4,96	17,475	86,599	138,238	103,305
4,97	18,348	87,986	139,267	102,589
4,98	19,235	89,385	140,290	101,838
4,99	20,136	90,792	141,304	101,049
5,00	21,050	92,210	142,310	100,226
5,01	21,980	93,639	143,309	99,365
5,02	22,847	95,076	144,298	98,468
5,03	23,882	96,524	145,277	97,531
5,04	24,854	97,982	146,248	96,557
5,05	25,841	99,449	147,209	95,544
5,06	26,843	100,926	148,159	94,490
5,07	27,860	102,413	149,099	93,396
5,08	28,891	103,909	150,027	92,260
5,09	29,938	105,413	150,944	91,084
5,10	31,000	106,927	151,847	89,864
5,11	32,077	108,450	152,741	88,603
5,12	33,169	109,982	153,620	87,298
5,13	34,276	111,522	154,486	85,950
5,14	35,399	113,072	155,339	84,556
5,15	36,538	114,630	156,178	83,118
5,16	37,691	116,194	157,001	81,633
5,17	38,862	117,769	157,810	80,102
5,18	40,047	119,352	158,604	78,524
5,19	41,249	120,942	159,381	76,899
5,20	42,466	122,533	160,140	75,223
5,21	43,699	124,144	160,885	73,501
5,22	44,349	125,755	161,611	71,729
5,23	46,215	127,376	162,318	69,903
5,24	47,496	129,002	163,008	68,029
5,25	48,795	130,636	163,679	66,108
5,26	50,109	132,276	164,330	64,127
5,27	51,440	133,922	164,961	62,096
5,28	52,788	135,576	165,573	60,012
5,29	54,151	137,234	166,162	57,874
5,30	55,532	138,898	166,730	55,680
5,31	56,930	140,568	167,275	53,429
5,32	58,344	142,244	167,797	51,123
5,33	59,775	143,924	168,297	48,761
5,34	61,222	145,609	168,773	46,342
5,35	62,687	147,300	169,224	43,864

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
5,36	64,168	148,994	169,651	41,328
5,37	65,666	150,692	170,050	38,729
5,38	67,182	152,395	170,424	36,073
5,39	68,714	154,100	170,771	33,356
5,40	70,264	155,810	171,091	30,576
5,41	71,831	157,523	171,383	27,734
5,42	73,414	159,238	171,647	24,830
5,43	75,016	160,956	171,880	21,861
5,44	76,634	162,676	172,084	18,829
5,45	78,269	164,397	172,257	15,731
5,46	79,922	166,121	172,399	12,567
5,47	81,592	167,845	172,507	9,336
5,48	83,279	169,570	172,583	6,038
5,49	84,983	171,297	172,627	2,673
5,50	86,704	173,023	172,637	— 0,760
5,51	88,443	174,749	172,612	— 4,262
5,52	90,200	176,476	172,552	— 7,835
5,53	91,972	178,200	172,456	— 11,477
5,54	93,764	179,925	172,323	— 15,194
5,55	95,572	181,647	172,151	— 18,981
5,56	97,396	183,367	171,943	— 22,838
5,57	99,238	185,085	171,695	— 26,771
5,58	101,098	186,801	171,406	— 30,780
5,59	102,974	188,512	171,078	— 34,859
5,60	104,869	190,223	170,710	— 39,017
5,61	106,779	191,927	170,298	— 43,250
5,62	108,707	193,629	169,844	— 47,561
5,63	110,651	195,324	169,346	— 51,946
5,64	112,613	197,015	168,805	— 56,411
5,65	114,592	198,701	168,219	— 60,956
5,66	116,587	200,378	167,584	— 65,580
5,67	118,599	202,052	166,907	— 70,282
5,68	120,628	203,717	166,179	— 75,066
5,69	122,673	205,373	165,403	— 79,934
5,70	124,735	207,025	164,581	— 84,880
5,71	126,814	208,666	163,706	— 89,914
5,72	128,909	210,299	162,781	— 95,028
5,73	131,021	211,922	161,805	— 100,227
5,74	133,148	213,544	160,846	— 105,124
5,75	135,290	215,137	159,695	— 110,877
5,76	137,450	216,728	158,558	— 116,333
5,77	139,626	218,308	157,366	— 121,877
5,78	141,814	219,876	156,122	— 127,502
5,79	144,023	221,430	154,816	— 133,221
5,80	146,245	222,971	153,456	— 139,026

φ	C_{φ}	C'_{φ}	C''_{φ}	C'''_{φ}
5,81	148,482	224,498	152,036	— 144,920
5,82	150,734	226,012	150,558	— 150,902
5,83	153,003	227,510	149,018	— 156,980
5,84	155,285	228,993	147,418	— 163,143
5,85	157,599	230,457	145,754	— 169,401
5,86	159,895	231,909	144,031	— 175,751
5,87	162,221	233,340	142,240	— 182,194
5,88	164,561	234,753	140,385	— 188,730
5,89	166,915	236,145	138,464	— 195,358
5,90	169,284	237,522	136,479	— 202,081
5,91	171,665	238,875	134,422	— 208,902
5,92	174,061	240,209	132,298	— 215,817
5,93	176,070	241,522	130,107	— 222,827
5,94	178,892	242,812	127,843	— 229,933
5,95	181,327	244,078	125,506	— 237,141
5,96	183,773	245,322	123,100	— 244,439
5,97	186,233	246,540	120,618	— 251,841
5,98	188,703	247,733	118,062	— 259,339
5,99	191,187	248,900	115,430	— 266,938
6,00	193,681	250,042	112,846	— 274,631
6,01	196,188	251,155	109,938	— 282,432
6,02	198,705	252,241	107,076	— 290,329
6,03	201,232	253,296	104,132	— 298,327
6,04	203,771	254,324	101,110	— 306,427
6,05	206,319	255,319	98,003	— 314,630
6,06	208,877	256,283	94,816	— 322,932
6,07	211,444	257,213	91,542	— 331,340
6,08	214,021	258,113	88,188	— 339,849
6,09	216,607	258,979	84,748	— 348,460
6,10	219,200	259,807	81,217	— 357,179
6,11	221,802	260,601	77,602	— 365,997
6,12	224,411	261,358	73,897	— 374,920
6,13	227,029	262,080	70,105	— 383,948
6,14	229,654	262,763	66,220	— 393,083
6,15	232,283	263,349	62,241	— 402,215
6,16	234,921	264,004	58,170	— 411,667
6,17	237,564	264,565	54,006	— 421,117
6,18	240,212	265,084	49,748	— 430,672
6,19	242,865	265,561	45,394	— 440,333
6,20	245,523	265,992	40,942	— 450,100
6,21	248,185	266,379	36,392	— 459,973
6,22	250,850	266,718	31,741	— 469,955
6,23	253,521	267,015	26,992	— 480,045
6,24	256,192	267,260	22,140	— 490,239
6,25	258,865	267,457	17,188	— 500,538
6,26	261,540	267,602	12,128	— 510,948
6,27	264,216	267,697	6,965	— 521,463
6,28	266,893	267,742	1,703	— 532,078

§ 23. Таблицы функций E_φ , E'_φ , E''_φ и E'''_φ для аргументов от $\varphi=0$ до $\varphi=7,00$.

φ	E_φ	E'_φ	E''_φ	E'''_φ
0,00	1,000	— 1,000	0,000	2,000
0,10	0,900	— 0,991	0,181	1,620
0,20	0,803	— 0,965	0,325	1,279
0,30	0,708	— 0,927	0,438	0,977
0,40	0,618	— 0,878	0,562	0,713
0,50	0,533	— 0,823	0,582	0,483
0,60	0,453	— 0,763	0,620	0,286
0,70	0,380	— 0,700	0,640	0,120
0,80	0,313	— 0,635	0,645	— 0,019
0,90	0,253	— 0,571	0,637	— 0,131
1,00	0,199	— 0,508	0,619	— 0,222
1,10	0,151	— 0,448	0,593	— 0,291
1,20	0,109	— 0,390	0,561	— 0,343
1,30	0,073	— 0,336	0,525	— 0,379
1,40	0,042	— 0,285	0,486	— 0,402
1,50	0,016	— 0,238	0,445	— 0,414
1,60	— 0,006	— 0,196	0,404	— 0,415
1,70	— 0,024	— 0,158	0,362	— 0,409
1,80	— 0,038	— 0,123	0,322	— 0,397
1,90	— 0,049	— 0,093	0,283	— 0,380
2,00	— 0,056	— 0,067	0,246	— 0,359
2,10	— 0,062	— 0,044	0,211	— 0,335
2,20	— 0,065	— 0,024	0,179	— 0,310
2,30	— 0,067	— 0,008	0,150	— 0,283
2,40	— 0,067	0,006	0,123	— 0,256
2,50	— 0,066	0,017	0,098	— 0,230
2,60	— 0,064	0,025	0,077	— 0,204
2,70	— 0,061	0,032	0,057	— 0,179
2,80	— 0,057	0,037	0,041	— 0,155
2,90	— 0,053	0,040	0,026	— 0,133
3,00	— 0,049	0,042	0,014	— 0,113
3,10	— 0,045	0,043	0,004	— 0,094
3,20	— 0,041	0,043	— 0,005	— 0,077
3,30	— 0,036	0,042	— 0,012	— 0,061
3,40	— 0,032	0,041	— 0,017	— 0,047
3,50	— 0,028	0,039	— 0,021	— 0,035
3,60	— 0,025	0,037	— 0,024	— 0,025
3,70	— 0,021	0,034	— 0,026	— 0,016
3,80	— 0,018	0,031	— 0,027	— 0,008
3,90	— 0,015	0,029	— 0,028	— 0,002
4,00	— 0,012	0,026	— 0,028	+ 0,004

φ	E_{φ}	E'_{φ}	E''_{φ}	E'''_{φ}
4,10	-0,010	0,023	-0,027	0,008
4,20	-0,007	0,020	-0,026	0,011
4,30	-0,005	0,018	-0,025	0,014
4,40	-0,004	0,015	-0,023	0,016
4,50	-0,002	0,013	-0,022	0,017
4,60	-0,001	0,011	-0,020	0,018
4,70	0,000	0,009	-0,018	0,018
4,80	0,001	0,007	-0,016	0,018
4,90	0,001	0,006	-0,014	0,017
5,00	0,002	0,005	-0,013	0,017
5,10	0,002	0,003	-0,011	0,016
5,20	0,003	0,002	-0,010	0,015
5,30	0,003	0,001	-0,008	0,014
5,40	0,003	0,001	-0,007	0,013
5,50	0,003	0,001	-0,006	0,012
5,60	0,003	-0,001	-0,005	0,010
5,70	0,003	-0,001	-0,004	0,009
5,80	0,003	-0,001	-0,003	0,008
5,90	0,003	-0,002	-0,002	0,007
6,00	0,002	-0,002	-0,001	0,006
6,10	0,002	-0,002	-0,001	0,005
6,20	0,002	-0,002	0,000	0,004
6,30	0,002	-0,002	0,000	0,004
6,40	0,002	-0,002	0,000	0,003
6,50	0,002	-0,002	0,001	0,002
6,60	0,001	-0,002	0,001	0,002
6,70	0,001	-0,002	0,001	0,001
6,80	0,001	-0,002	0,001	0,001
6,90	0,001	-0,001	0,001	0,001
7,00	0,001	-0,001	0,001	0,000

§ 24. Таблицы функций N , U , V и W для аргументов
от $\lambda=0$ до $\lambda=2,50$.

λ	N	U	V	W
0,00	0,00000	∞	∞	∞
0,10	0,00213	10,01408	75,12207	375,66666
0,20	0,03414	5,00146	18,76743	47,02607
0,30	0,17302	3,33730	8,37071	14,11109
0,40	0,54826	2,50976	4,75442	6,15609
0,41	0,60542	2,44951	4,53193	5,74510
0,42	0,66697	2,39224	4,32546	5,37300
0,43	0,73315	2,33764	4,13347	5,03529
0,44	0,80416	2,28568	3,95483	4,72835
0,45	0,88027	2,23604	3,78824	4,44866
0,46	0,96172	2,18866	3,63270	4,19336
0,47	1,04875	2,14339	3,48734	3,95999
0,48	1,14163	2,10009	3,35129	3,74625
0,49	1,24064	2,05863	3,22377	3,55014
0,50	1,34605	2,01891	3,10416	3,36998
0,51	1,45814	1,98085	2,99183	3,20423
0,52	1,57722	1,94433	2,88620	3,05151
0,53	1,70357	1,90929	2,78685	2,91065
0,54	1,83753	1,87563	2,69325	2,78052
0,55	1,97941	1,84328	2,60502	2,66019
0,56	2,12953	1,81219	2,52180	2,54881
0,57	2,28825	1,78229	2,44323	2,44557
0,58	2,45591	1,75351	2,36899	2,34981
0,59	2,63290	1,72580	2,29879	2,26088
0,60	2,81956	1,69912	2,23238	2,17824
0,61	3,01628	1,67342	2,16953	2,10139
0,62	3,22349	1,64864	2,10998	2,02983
0,63	3,44158	1,62476	2,05356	1,96317
0,64	3,67097	1,60173	2,00006	1,90103
0,65	3,91212	1,57951	1,94930	1,84305
0,66	4,16546	1,55808	1,90113	1,78894
0,67	4,43149	1,53738	1,85540	1,73839
0,68	4,71066	1,51741	1,81196	1,69115
0,69	5,00350	1,49813	1,77069	1,64698
0,70	5,31051	1,47951	1,73146	1,60567
0,71	5,63224	1,46152	1,69417	1,56700
0,72	5,96922	1,44415	1,65871	1,53080
0,73	6,32206	1,42737	1,62497	1,49689
0,74	6,69134	1,41115	1,59287	1,46513
0,75	7,07767	1,39548	1,56233	1,43536

λ	N	U	V	W
0,76	7,48170	1,38034	1,53326	1,40745
0,77	7,90408	1,36571	1,50559	1,38128
0,78	8,34550	1,35157	1,47925	1,35674
0,79	8,80668	1,33790	1,45416	1,33372
0,80	9,28836	1,32470	1,43028	1,31213
0,81	9,79128	1,31194	1,40754	1,29187
0,82	10,31626	1,29960	1,38588	1,27285
0,83	10,86412	1,28768	1,36526	1,25502
0,84	11,43572	1,27617	1,34563	1,23827
0,85	12,03194	1,26504	1,32693	1,22256
0,86	12,65370	1,25429	1,30913	1,20782
0,87	13,30198	1,24391	1,29218	1,19399
0,88	13,97776	1,23388	1,27605	1,18102
0,89	14,68208	1,22420	1,26069	1,16884
0,90	15,41602	1,21484	1,24608	1,15743
0,91	16,18069	1,20581	1,23217	1,14672
0,92	16,97728	1,19709	1,21894	1,13669
0,93	17,80698	1,18868	1,20636	1,12728
0,94	18,67105	1,18056	1,19440	1,11846
0,95	19,57081	1,17273	1,18302	1,11020
0,96	20,50761	1,16518	1,17222	1,10247
0,97	21,48289	1,15789	1,16195	1,09523
0,98	22,49811	1,15087	1,15219	1,08845
0,99	22,55481	1,14411	1,14293	1,08212
1,00	24,65459	1,13759	1,13414	1,07619
1,01	25,79911	1,13131	1,12581	1,07066
1,02	26,99012	1,12526	1,11790	1,06549
1,03	28,22940	1,11944	1,11041	1,06066
1,04	29,51885	1,11384	1,10330	1,05616
1,05	30,86040	1,10845	1,09658	1,05197
1,06	32,25612	1,10327	1,09022	1,04806
1,07	33,70810	1,09829	1,08420	1,04442
1,08	35,21856	1,09350	1,07850	1,04103
1,09	36,78982	1,08891	1,07313	1,03789
1,10	38,42424	1,08450	1,06805	1,03496
1,11	40,12434	1,08026	1,06325	1,03225
1,12	41,89270	1,07620	1,05874	1,02974
1,13	43,73204	1,07230	1,05448	1,02742
1,14	45,64517	1,06857	1,05047	1,02526
1,15	47,63503	1,06499	1,04669	1,02327
1,16	49,70467	1,06156	1,04315	1,02143
1,17	51,85730	1,05829	1,03982	1,01974
1,18	54,09619	1,05515	1,03669	1,01818
1,19	56,42484	1,05215	1,03376	1,01675
1,20	58,84682	1,04929	1,03101	1,01543

λ	N	U	V	W
1,21	61,36589	1,04655	1,02844	1,01423
1,22	63,98596	1,04394	1,02604	1,01312
1,23	66,71108	1,04145	1,02380	1,01211
1,24	69,54549	1,03907	1,02171	1,01119
1,25	72,49361	1,03681	1,01976	1,01036
1,26	75,56002	1,03466	1,01795	1,00959
1,27	78,74953	1,03260	1,01627	1,00890
1,28	82,06709	1,03065	1,01471	1,00828
1,29	85,51791	1,02880	1,01326	1,00772
1,30	89,10740	1,02704	1,01193	1,00721
1,31	92,84117	1,02537	1,01070	1,00676
1,32	96,72510	1,02378	1,00956	1,00635
1,33	100,76530	1,02228	1,00851	1,00599
1,34	104,96810	1,02085	1,00756	1,00566
1,35	109,34016	1,01951	1,00668	1,00537
1,36	113,88835	1,01824	1,00588	1,00512
1,37	118,61986	1,01704	1,00515	1,00490
1,38	123,54216	1,01590	1,00449	1,00471
1,39	128,66304	1,01483	1,00389	1,00454
1,40	133,99062	1,01382	1,00334	1,00440
1,41	139,53333	1,01287	1,00286	1,00427
1,42	145,29995	1,01197	1,00242	1,00417
1,43	151,29966	1,01113	1,00204	1,00408
1,44	157,54197	1,01034	1,00169	1,00400
1,45	164,03681	1,00960	1,00139	1,00394
1,46	170,79451	1,00891	1,00113	1,00389
1,47	177,82584	1,00826	1,00090	1,00385
1,48	185,14197	1,00765	1,00070	1,00382
1,49	192,75458	1,00709	1,00053	1,00380
1,50	200,67581	1,00656	1,00039	1,00378
1,51	208,91829	1,00606	1,00028	1,00376
1,52	217,49517	1,00560	1,00018	1,00375
1,53	226,42016	1,00518	1,00011	1,00374
1,54	235,70751	1,00478	1,00006	1,00374
1,55	245,37208	1,00441	1,00002	1,00374
1,56	255,42930	1,00407	1,00000	1,00374
1,57	265,89526	1,00376	1,00000	1,00374
1,58	276,78672	1,00348	1,00001	1,00374
1,59	288,12109	1,00321	1,00002	1,00374
1,60	299,91653	1,00296	1,00004	1,00374
1,61	312,19193	1,00274	1,00008	1,00374
1,62	324,96693	1,00253	1,00012	1,00373
1,63	338,26202	1,00234	1,00017	1,00373
1,64	352,09849	1,00216	1,00022	1,00372
1,65	366,49850	1,00201	1,00027	1,00371

λ	N	U	V	W
1,66	381,48516	1,00186	1,00033	1,00370
1,67	397,08248	1,00173	1,00039	1,00368
1,68	413,31546	1,00162	1,00045	1,00367
1,69	430,21014	1,00151	1,00052	1,00365
1,70	447,79360	1,00141	1,00058	1,00363
1,71	466,09404	1,00133	1,00065	1,00360
1,72	485,14082	1,00125	1,00071	1,00357
1,73	504,96448	1,00118	1,00078	1,00354
1,74	525,59682	1,00112	1,00084	1,00351
1,75	547,07094	1,00107	1,00090	1,00348
1,76	569,42127	1,00102	1,00096	1,00344
1,77	592,68367	1,00098	1,00102	1,00340
1,78	616,89545	1,00095	1,00107	1,00336
1,79	642,09545	1,00092	1,00112	1,00331
1,80	668,32411	1,00089	1,00117	1,00327
1,81	695,62347	1,00087	1,00122	1,00322
1,82	724,03734	1,00085	1,00126	1,00317
1,83	753,61128	1,00083	1,00130	1,00312
1,84	784,39274	1,00082	1,00134	1,00307
1,85	816,43107	1,00081	1,00138	1,00301
1,86	849,77766	1,00080	1,00141	1,00295
1,87	884,48599	1,00079	1,00144	1,00290
1,88	920,61173	1,00078	1,00146	1,00284
1,89	958,21279	1,00078	1,00148	1,00278
1,90	997,34946	1,00078	1,00150	1,00272
1,91	1038,08450	1,00078	1,00152	1,00266
1,92	1080,48323	1,00078	1,00153	1,00260
1,93	1124,61359	1,00078	1,00154	1,00254
1,94	1170,54636	1,00078	1,00155	1,00248
1,95	1218,35515	1,00078	1,00155	1,00242
1,96	1268,11659	1,00078	1,00155	1,00235
1,97	1319,91045	1,00078	1,00155	1,00229
1,98	1373,81973	1,00078	1,00155	1,00223
1,99	1429,93083	1,00078	1,00155	1,00217
2,00	1488,33366	1,00078	1,00154	1,00211
2,01	1549,12181	1,00078	1,00153	1,00204
2,02	1612,39267	1,00077	1,00152	1,00198
2,03	1678,24763	1,00077	1,00150	1,00192
2,04	1746,79218	1,00077	1,00149	1,00186
2,05	1818,13614	1,00077	1,00147	1,00180
2,06	1892,39379	1,00077	1,00145	1,00175
2,07	1969,68407	1,00076	1,00144	1,00169
2,08	2050,13080	1,00076	1,00141	1,00163
2,09	2133,86280	1,00075	1,00139	1,00157
2,10	2221,01420	1,00075	1,00137	1,00152

λ	N	U	V	W
2,11	2311,72455	1,00074	1,00134	1,00146
2,12	2406,13913	1,00074	1,00132	1,00141
2,13	2504,40912	1,00073	1,00129	1,00136
2,14	2606,69187	1,00072	1,00127	1,00131
2,15	2713,15117	1,00072	1,00124	1,00126
2,16	2823,95745	1,00071	1,00121	1,00121
2,17	2939,28814	1,00070	1,00118	1,00116
2,18	3059,32787	1,00069	1,00115	1,00111
2,19	3184,26882	1,00068	1,00112	1,00107
2,20	3314,31099	1,00067	1,00109	1,00102
2,21	3449,66256	1,00066	1,00106	1,00098
2,22	3590,54020	1,00065	1,00103	1,00094
2,23	3737,16940	1,00064	1,00100	1,00090
2,24	3889,78498	1,00063	1,00097	1,00086
2,25	4048,63090	1,00062	1,00094	1,00082
2,26	4213,96171	1,00060	1,00091	1,00078
2,27	4386,04192	1,00059	1,00089	1,00075
2,28	4565,14695	1,00058	1,00086	1,00071
2,29	4751,56344	1,00057	1,00083	1,00068
2,30	4945,58974	1,00056	1,00080	1,00065
2,31	5147,53635	1,00054	1,00077	1,00062
2,32	5357,72646	1,00053	1,00074	1,00058
2,33	5576,49645	1,00052	1,00072	1,00055
2,34	5804,19641	1,00051	1,00069	1,00052
2,35	6041,19072	1,00049	1,00066	1,00050
2,36	6287,85861	1,00048	1,00064	1,00048
2,37	6544,59482	1,00047	1,00061	1,00045
2,38	6811,81017	1,00045	1,00059	1,00043
2,39	7089,93227	1,00044	1,00056	1,00040
2,40	7379,40613	1,00043	1,00054	1,00038
2,41	7680,69497	1,00042	1,00051	1,00036
2,42	7994,28088	1,00040	1,00049	1,00034
2,43	8320,66565	1,00039	1,00047	1,00032
2,44	8660,37153	1,00038	1,00045	1,00030
2,45	9013,94206	1,00037	1,00043	1,00028
2,46	9381,94301	1,00035	1,00041	1,00027
2,47	9764,96320	1,00034	1,00039	1,00025
2,48	10163,61548	1,00033	1,00037	1,00024
2,49	10578,53772	1,00031	1,00035	1,00022
2,50	11010,39385	1,00030	1,00033	1,00020
∞	∞	1,00000	1,00000	1,00000

§ 25. Таблицы функций n , u , v и w для аргументов
от $\lambda=0$ до $\lambda=2,50$.

λ	n	u	v	w
0,00	0,00000	∞	0,00000	0,00000
0,10	0,40001	10,00010	— 0,10000	— 0,00004
0,20	0,80017	5,00160	— 0,19997	— 0,00266
0,30	1,20129	3,33875	— 0,29979	— 0,00900
0,40	1,60547	2,51612	— 0,39909	— 0,02126
0,41	1,64618	2,45276	— 0,40898	— 0,02290
0,42	1,68697	2,39572	— 0,41885	— 0,02460
0,43	1,72784	2,34142	— 0,42870	— 0,02639
0,44	1,76880	2,28968	— 0,43854	— 0,02826
0,45	1,80985	2,24035	— 0,44837	— 0,03022
0,46	1,85099	2,19327	— 0,45818	— 0,03226
0,47	1,89224	2,14830	— 0,46797	— 0,03440
0,48	1,93359	2,10531	— 0,47775	— 0,03662
0,49	1,97507	2,06418	— 0,48751	— 0,03894
0,50	2,01667	2,02481	— 0,49725	— 0,04135
0,51	2,05841	1,98710	— 0,50695	— 0,04385
0,52	2,10028	1,95096	— 0,51666	— 0,04645
0,53	2,14232	1,91628	— 0,52632	— 0,04914
0,54	2,18450	1,88303	— 0,53596	— 0,05194
0,55	2,22686	1,85109	— 0,54558	— 0,05484
0,56	2,26939	1,82042	— 0,55517	— 0,05783
0,57	2,31210	1,79096	— 0,56473	— 0,06093
0,58	2,35502	1,76264	— 0,57425	— 0,06414
0,59	2,39816	1,73539	— 0,58374	— 0,06745
0,60	2,44150	1,70920	— 0,59320	— 0,07087
0,61	2,48508	1,68399	— 0,60262	— 0,07439
0,62	2,52889	1,65974	— 0,61201	— 0,07802
0,63	2,57297	1,63638	— 0,62135	— 0,08176
0,64	2,61732	1,61389	— 0,63104	— 0,08561
0,65	2,66194	1,59223	— 0,63991	— 0,08956
0,66	2,70686	1,57136	— 0,64913	— 0,09364
0,67	2,75208	1,55126	— 0,65830	— 0,09781
0,68	2,79763	1,53189	— 0,66742	— 0,10211
0,69	2,84351	1,51323	— 0,67649	— 0,10652
0,70	2,88975	1,49524	— 0,68550	— 0,11037
0,71	2,93635	1,47791	— 0,69446	— 0,11567
0,72	2,98334	1,46119	— 0,70672	— 0,12041
0,73	3,03073	1,44509	— 0,71222	— 0,12527
0,74	3,07853	1,42957	— 0,71200	— 0,13024
0,75	3,12677	1,41461	— 0,72972	— 0,13533

λ	n	n	v	w
0,76	3,17547	1,40018	— 0,73208	— 0,14053
0,77	3,22463	1,38629	— 0,74697	— 0,14584
0,78	3,27428	1,37291	— 0,75549	— 0,15126
0,79	3,32445	1,36001	— 0,76394	— 0,15680
0,80	3,37514	1,35024	— 0,76965	— 0,16511
0,81	3,42639	1,33561	— 0,78061	— 0,16820
0,82	3,47820	1,32408	— 0,78883	— 0,17406
0,83	3,53061	1,31298	— 0,79726	— 0,18003
0,84	3,58363	1,30230	— 0,80504	— 0,18612
0,85	3,63729	1,29203	— 0,81301	— 0,19231
0,86	3,69162	1,28213	— 0,82090	— 0,19860
0,87	3,74663	1,27262	— 0,82870	— 0,20499
0,88	3,80235	1,26347	— 0,83641	— 0,21149
0,89	3,85881	1,25468	— 0,84402	— 0,21809
0,90	3,91602	1,24623	— 0,85155	— 0,22479
0,91	3,97403	1,23812	— 0,85897	— 0,23158
0,92	4,03284	1,23033	— 0,86630	— 0,23847
0,93	4,09250	1,22285	— 0,87352	— 0,24545
0,94	4,15304	1,21568	— 0,88065	— 0,25253
0,95	4,21446	1,20880	— 0,88766	— 0,25969
0,96	4,27683	1,20221	— 0,89457	— 0,26693
0,97	4,34013	1,19590	— 0,90138	— 0,27427
0,98	4,40444	1,18985	— 0,90807	— 0,28168
0,99	4,46978	1,18407	— 0,91465	— 0,28917
1,00	4,53616	1,17854	— 0,92112	— 0,29674
1,01	4,60362	1,17326	— 0,92747	— 0,30438
1,02	4,67222	1,16821	— 0,93371	— 0,31209
1,03	4,74197	1,16340	— 0,93983	— 0,31986
1,04	4,81290	1,15881	— 0,94583	— 0,32771
1,05	4,88507	1,15443	— 0,95171	— 0,33561
1,06	4,95849	1,15026	— 0,95747	— 0,34357
1,07	5,03322	1,14630	— 0,96310	— 0,35158
1,08	5,10929	1,14253	— 0,96861	— 0,35964
1,09	5,18673	1,13896	— 0,97400	— 0,36776
1,10	5,26561	1,13556	— 0,97926	— 0,37591
1,11	5,34593	1,13234	— 0,98440	— 0,38411
1,12	5,42776	1,12929	— 0,98940	— 0,39234
1,13	5,51112	1,12641	— 0,99429	— 0,40061
1,14	5,59608	1,12369	— 0,99904	— 0,40890
1,15	5,68267	1,12112	— 1,00367	— 0,41722
1,16	5,77093	1,11869	— 1,00816	— 0,42557
1,17	5,86091	1,11642	— 1,01253	— 0,43393
1,18	5,95268	1,11427	— 1,01677	— 0,44230
1,19	6,04625	1,11226	— 1,02088	— 0,45069
1,20	6,14169	1,11037	— 1,02485	— 0,45909

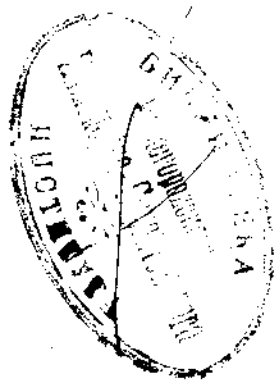
λ	n	u	v	w
1,21	6,23905	1,10860	— 1,02870	— 0,46748
1,22	6,33838	1,10695	— 1,03243	— 0,47588
1,23	6,43972	1,10541	— 1,03602	— 0,48427
1,24	6,54313	1,10398	— 1,03949	— 0,49265
1,25	6,64867	1,10265	— 1,04283	— 0,50103
1,26	6,75640	1,10141	— 1,04604	— 0,50938
1,27	6,86636	1,10027	— 1,04913	— 0,51772
1,28	6,97862	1,09921	— 1,05209	— 0,52603
1,29	7,09321	1,09824	— 1,05493	— 0,53432
1,30	7,21023	1,09735	— 1,05765	— 0,54258
1,31	7,32972	1,09653	— 1,06024	— 0,55080
1,32	7,45174	1,09578	— 1,06272	— 0,55899
1,33	7,57636	1,09510	— 1,06507	— 0,56714
1,34	7,70364	1,09448	— 1,06731	— 0,57525
1,35	7,83364	1,09392	— 1,06943	— 0,58330
1,36	7,96643	1,09342	— 1,07144	— 0,59131
1,37	8,10209	1,09297	— 1,07333	— 0,59927
1,38	8,24068	1,09257	— 1,07511	— 0,60717
1,39	8,38225	1,09221	— 1,07678	— 0,61501
1,40	8,52691	1,09190	— 1,07834	— 0,62279
1,41	8,67470	1,09162	— 1,07980	— 0,63051
1,42	8,82571	1,09138	— 1,08115	— 0,63816
1,43	8,98002	1,09118	— 1,08240	— 0,64574
1,44	9,13769	1,09100	— 1,08355	— 0,65325
1,45	9,29881	1,09085	— 1,08461	— 0,66069
1,46	9,46346	1,09073	— 1,08556	— 0,66805
1,47	9,63172	1,09063	— 1,08642	— 0,67533
1,48	9,80368	1,09054	— 1,08719	— 0,68253
1,49	9,97940	1,09048	— 1,08787	— 0,68965
1,50	10,15899	1,09043	— 1,08846	— 0,69669
1,51	10,34254	1,09039	— 1,08897	— 0,70364
1,52	10,53012	1,09037	— 1,08939	— 0,71050
1,53	10,72183	1,09035	— 1,08973	— 0,71728
1,54	10,91777	1,09034	— 1,08999	— 0,72396
1,55	11,11803	1,09033	— 1,09018	— 0,73056
1,56	11,32270	1,09033	— 1,09029	— 0,73706
1,57	11,53188	1,09033	— 1,09033	— 0,74347
1,58	11,74568	1,09033	— 1,09030	— 0,74978
1,59	11,96418	1,09033	— 1,09021	— 0,75600
1,60	12,18751	1,09033	— 1,09005	— 0,76212
1,61	12,41575	1,09032	— 1,08982	— 0,76815
1,62	12,64903	1,09030	— 1,08954	— 0,77407
1,63	12,88744	1,09028	— 1,08920	— 0,77990
1,64	13,13110	1,09026	— 1,08880	— 0,78564
1,65	13,38013	1,09022	— 1,08835	— 0,79127

λ	n	u	v	w
1,66	13,63404	1,09017	— 1,08785	— 0,79680
1,67	13,89474	1,09012	— 1,08729	— 0,80224
1,68	14,16055	1,09005	— 1,08670	— 0,80758
1,69	14,43220	1,08997	— 1,08605	— 0,81289
1,70	14,70982	1,08988	— 1,08537	— 0,81795
1,71	14,99353	1,08977	— 1,08464	— 0,82299
1,72	15,28345	1,08966	— 1,08387	— 0,82793
1,73	15,57972	1,08952	— 1,08307	— 0,83278
1,74	15,88247	1,08938	— 1,08223	— 0,83753
1,75	16,19185	1,08921	— 1,08136	— 0,84217
1,76	16,50797	1,08904	— 1,08046	— 0,84673
1,77	16,83100	1,08884	— 1,07953	— 0,85118
1,78	17,16107	1,08863	— 1,07858	— 0,85555
1,79	17,49833	1,08841	— 1,07760	— 0,85981
1,80	17,84294	1,08816	— 1,07659	— 0,86398
1,81	18,19502	1,08790	— 1,07556	— 0,86806
1,82	18,55476	1,08763	— 1,07452	— 0,87205
1,83	18,92231	1,08734	— 1,07345	— 0,87595
1,84	19,29782	1,08703	— 1,07237	— 0,87975
1,85	19,68145	1,08670	— 1,07127	— 0,88347
1,86	20,07339	1,08636	— 1,07016	— 0,88709
1,87	20,47379	1,08601	— 1,06903	— 0,89069
1,88	20,88283	1,08563	— 1,06789	— 0,89420
1,89	21,30069	1,08524	— 1,06675	— 0,89745
1,90	21,72755	1,08484	— 1,06559	— 0,90074
1,91	22,16350	1,08441	— 1,06443	— 0,90394
1,92	22,60899	1,08398	— 1,06327	— 0,90706
1,93	23,06395	1,08352	— 1,06209	— 0,91009
1,94	23,52867	1,08306	— 1,06092	— 0,91305
1,95	24,00333	1,08258	— 1,05974	— 0,91598
1,96	24,48815	1,08208	— 1,05856	— 0,91878
1,97	24,98333	1,08157	— 1,05738	— 0,92146
1,98	25,48907	1,08104	— 1,05620	— 0,92411
1,99	26,00559	1,08051	— 1,05502	— 0,92669
2,00	26,53312	1,07996	— 1,05385	— 0,92920
2,01	27,07186	1,07939	— 1,05268	— 0,93164
2,02	27,62203	1,07882	— 1,05151	— 0,93400
2,03	28,18389	1,07823	— 1,05035	— 0,93630
2,04	28,75766	1,07763	— 1,04919	— 0,93854
2,05	29,34358	1,07702	— 1,04804	— 0,94070
2,06	29,94189	1,07640	— 1,04690	— 0,94281
2,07	30,55284	1,07577	— 1,04576	— 0,94485
2,08	31,17669	1,07513	— 1,04464	— 0,94682
2,09	31,81368	1,07447	— 1,04352	— 0,94874
2,10	32,46409	1,07381	— 1,04241	— 0,95060

λ	n	z	v	w
2,11	33,12818	1,07315	— 1,04131	— 0,95240
2,12	33,80624	1,07247	— 1,04023	— 0,95415
2,13	34,49852	1,07178	— 1,03915	— 0,95584
2,14	35,20533	1,07109	— 1,03809	— 0,95747
2,15	35,92694	1,07039	— 1,03703	— 0,95905
2,16	36,66366	1,06968	— 1,03599	— 0,96058
2,17	37,41579	1,06997	— 1,03497	— 0,96207
2,18	38,18363	1,06825	— 1,03395	— 0,96350
2,19	38,96748	1,06753	— 1,03295	— 0,96488
2,20	39,76770	1,06680	— 1,03197	— 0,96622
2,21	40,58457	1,06607	— 1,03099	— 0,96751
2,22	41,41844	1,06533	— 1,03003	— 0,96876
2,23	42,26965	1,06459	— 1,02909	— 0,96996
2,24	43,13855	1,06384	— 1,02816	— 0,97112
2,25	44,02548	1,06310	— 1,02724	— 0,97224
2,26	44,93080	1,06235	— 1,02634	— 0,97332
2,27	45,85488	1,06159	— 1,02546	— 0,97436
2,28	46,79810	1,06084	— 1,02459	— 0,97536
2,29	47,76082	1,06008	— 1,02373	— 0,97633
2,30	48,74344	1,05932	— 1,02289	— 0,97726
2,31	49,74635	1,05856	— 1,02207	— 0,97816
2,32	50,76996	1,05780	— 1,02126	— 0,97902
2,33	51,81468	1,05704	— 1,02047	— 0,97985
2,34	52,88092	1,05628	— 1,01969	— 0,98064
2,35	53,96912	1,05552	— 1,01893	— 0,98141
2,36	55,07970	1,05477	— 1,01818	— 0,98214
2,37	56,21311	1,05401	— 1,01745	— 0,98285
2,38	57,36981	1,05325	— 1,01673	— 0,98353
2,39	58,55026	1,05250	— 1,01603	— 0,98418
2,40	59,75493	1,05174	— 1,01534	— 0,98480
2,41	60,98429	1,05099	— 1,01467	— 0,98540
2,42	62,23885	1,05024	— 1,01402	— 0,98597
2,43	63,51910	1,04950	— 1,01338	— 0,98652
2,44	64,82554	1,04875	— 1,01275	— 0,98705
2,45	66,15872	1,04801	— 1,01214	— 0,98755
2,46	67,51913	1,04727	— 1,01155	— 0,98803
2,47	68,90734	1,04654	— 1,01097	— 0,98849
2,48	70,32389	1,04581	— 1,01040	— 0,98893
2,49	71,76934	1,04508	— 1,00985	— 0,98935
2,50	73,24429	1,04436	— 1,00931	— 0,98975
∞	∞	1,00000	— 1,00000	— 1,00000

ЛИТЕРАТУРА.

- Герсегонов Н.** Расчет боковых стенок и сплошного каменного фундамента сухих доков по методе Франциуса, 1923.
- Дмоховский В.** Курс оснований и фундаментов, 1927.
- Думов Г.** Расчет балок на упругом основании, 1929.
- Жемочкин Б.** К вопросу о расчете сухих доков, 1927.
- Клишевич Г.** Статья в „Строительной промышленности“, 1927.
- Койлов А.** О расчете балок, лежащих на упругом основании, 1930.
- Павлюк Н.** Приближенный метод исследования изгиба балок, опирающихся концами на упругое основание, 1927.
- Пузыревский Н.** Расчеты фундаментов, 1923.
- Серк Л.** Основания и фундаменты гражданских сооружений, 1930.
- Симинский К.** Строительная механика, 1930.
- Тимошенко С.** Сопротивление материалов, 1931.
- Тимошенко С.** Теория упругости, 1916.
- Франциус О.** Основания и фундаменты, 1930 (перевод с немецкого).
- Цытович Н.** К вопросу расчета фундаментов сооружений, возводимых на вечной мерзлоте, 1928.
- Шейдиг.** Новейшие исследования грунтов, 1931.
- Brennecke L.** Grundbau, 1906.
- Franzius O.** Über die Berechnung von Trockendocks, 1908.
- Freund A.** Статьи в „Zeitschrift für Bauwesen“, 1918, 1924, 1927.
- Fritz H.** Статья в „Beton und Eisen“, 1930.
- Hayashi K.** Theorie des Trägers auf elastischer Unterlage, 1921.
- Hayashi K.** Tafeln der Kreis- und Hyperbelfunktionen, 1926.
- Kleinogel.** Rahmenformeln 4 Aufl., 1924.
- Pasternak P.** Статья в „Beton und Eisen“, 1926.
- Sanden und Schleicher.** Статья в „Beton und Eisen“.
- Schwedler I.** Статья в „Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers“, 1882.
- Scheidig.** Статья в „Bautechnik“, 1931.
- Terzaghi K.** Erdbaumechanik, 1925.
- Wieghardt.** Статья в „Zeitschrift für angew. Mathematik“, 1922.
- Winkler E.** Die Lehre von der Elasticität und Festigkeit, 1867.
- Zimmermann H.** Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues, 1888.



Ответственный редактор Я. М. ФРИДЛЯНДСКИЙ. Техн. редактор С. И. БРУСИЛОВСКАЯ.
Сдана в набор 27/III 1932 г. Подписано к печати 9/VII 1932 г.
Индекс С 10—5—3 ОНТИ № 753. Тираж 10 000 экз. Ленгориант № 45866. Зак. № 590.
Бумага 82 × 111 см., 21²/₄ печ. лст. (94352 тип. знак. в 1 бум. л.). Бум. листов 5²/₈.