

## УГЛЫ НАКЛОНА ПЛОСКОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ ПРИ АКТИВНОМ И ПАССИВНОМ ДАВЛЕНИИ ДЛЯ НАКЛОННОЙ СТЕНКИ С НАКЛОННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗАСЫПКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ ТРЕНИЯ ГРУНТА О СТЕНКУ

Яковлев П.И., Ганин Г.Г. (Одесский Национальный морской университет), Карпюк В.М., Ковров А.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

В статье приведены значения углов наклона линий скольжения при активном и пассивном давлениях различных грунтов ( $\varphi=20\dots45^\circ$ ), ( $\alpha=-20\dots30^\circ$ ) и поверхности засыпки к горизонтали ( $\beta=-20\dots20^\circ$ ), определенные на основании технической теории предельного напряженного состояния грунтов П.И.Яковлева.

В теории предельного равновесия вопрос о поверхностях скольжения является основополагающим. Бринч Ханзен указывал на то, что даже применение уравнений Кеттера может дать ошибочные результаты «если они будут приложены к не отвечающей действительности линии скольжения».

В опубликованных работах в опытах зафиксированы поверхности скольжения только для отдельных случаев. Широкая экспериментальная проверка поверхностей скольжения, найденных на основе теории предельного напряженного состояния не предпринималась.

В широком диапазоне исходных параметров (угол внутреннего трения  $\varphi$ , угол наклона стенки к вертикали  $\alpha$ , угол наклона поверхности засыпки  $\beta$ , угол трения грунта по стенке  $\delta$ ) значения угла наклона плоскости скольжения к вертикали  $\rho$  для активного и пассивного давления в литературе не опубликованы.

На основе классической теории Кулона П. И. Яковлевым были получены следующие формулы для угла  $\rho$  наклона линии скольжения к вертикали [1,2,3]

для активного (верхний знак) и пассивного (нижний знак) давления:

$$\rho = 90^\circ - \operatorname{arctg} \left( \frac{\pm k_0 \sin \varphi + \cos \alpha}{k_0 \cos \varphi - \sin \alpha} \right); \quad k_0 = \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cos(\alpha - \beta)}{\cos(\alpha \pm \delta) \sin(\varphi \mp \beta)}}$$

Углы  $\rho$  при  $\delta=0$

Активное давление							Пассивное давление				
$\varphi$	$\alpha$	$\beta$					$\beta$				
		20°	10°	0	-10°	-20°	20°	10°	0	-10°	-20°
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	30°	68,80	32,60	20,00	11,53	4,79	21,05	28,45	40,00	60,75	109,01
	20°	68,75	35,16	25,00	18,45	13,37	28,15	34,91	45,00	62,60	108,88
20°	10°	68,73	38,19	30,00	24,91	21,05	34,84	41,06	50,00	65,16	108,79
	0	68,76	41,56	35,00	31,06	28,15	41,23	47,00	55,00	68,19	108,74
	-10°	68,82	45,16	40,00	37,00	34,84	47,40	52,78	60,00	71,56	108,72
	-20°	68,92	48,95	45,00	42,78	41,23	53,37	58,45	65,00	75,16	108,75
	30°	41,22	26,31	17,50	10,86	5,16	25,52	32,45	42,50	58,71	86,98
	20°	42,10	29,47	22,50	17,45	13,24	32,29	38,64	47,50	61,31	86,10
25°	10°	43,57	33,01	27,50	23,64	20,52	38,69	44,58	52,50	64,47	86,22
	0	45,49	36,81	32,50	29,58	27,29	44,83	50,34	57,50	68,01	87,10
	-10°	47,75	40,79	37,50	35,34	33,69	50,76	55,97	62,50	71,81	88,57
	-20°	50,30	44,92	42,50	40,97	39,83	56,52	61,49	67,50	75,79	90,49
	30°	31,07	21,55	15,00	9,68	4,84	29,48	36,02	45,00	58,47	80,00
	20°	32,90	25,09	20,00	16,02	12,52	35,98	42,02	50,00	61,55	80,00
30°	10°	35,26	28,94	25,00	22,02	19,48	42,16	47,80	55,00	65,09	81,07
	0	38,01	33,00	30,00	27,80	25,98	48,11	53,43	60,00	68,94	82,90
	-10°	41,07	37,22	35,00	33,43	32,16	53,86	58,94	65,00	73,00	85,26
	-20°	44,37	41,55	40,00	38,94	38,11	59,44	64,35	70,00	77,22	88,01
	30°	24,25	17,55	12,50	8,16	4,05	33,11	39,31	47,50	59,14	76,68
	20°	26,71	21,36	17,50	14,31	11,40	39,39	45,17	52,50	62,55	77,47
35°	10°	29,63	25,42	22,50	20,17	18,11	45,39	50,83	57,50	66,36	79,25
	0	32,89	29,66	27,50	25,83	24,39	51,17	56,35	62,50	70,42	81,71
	-10°	36,42	34,03	32,50	31,35	30,39	56,78	61,77	67,50	74,66	84,63
	-20°	40,15	38,51	37,50	36,77	36,17	62,21	67,09	72,50	79,03	87,89
	30°	18,95	13,98	10,00	6,43	2,92	36,49	42,43	50,00	60,32	75,21
	20°	21,85	17,98	15,00	12,43	10,00	42,60	48,16	55,00	63,98	76,63
40°	10°	25,16	22,20	20,00	18,16	16,49	48,45	53,73	60,00	67,98	78,95
	0	28,77	26,57	25,00	23,73	22,60	54,10	59,17	65,00	72,20	81,85
	-10°	32,60	31,06	30,00	29,17	28,45	59,57	64,51	70,00	76,57	85,16
	-20°	36,63	35,65	35,00	34,51	34,10	64,88	69,76	75,00	81,06	88,77
	30°	14,48	10,69	7,50	4,54	1,55	39,70	45,42	52,50	61,84	74,84
	20°	17,71	14,83	12,50	10,42	8,40	45,66	51,06	57,50	65,69	76,76
45°	10°	21,31	19,17	17,50	16,06	14,70	51,38	56,54	62,50	69,83	79,48
	0	25,17	23,65	22,50	21,54	20,66	56,91	61,91	67,50	74,17	82,71
	-10°	29,24	28,23	27,50	26,91	26,38	62,27	67,18	72,50	78,65	86,31
	-20°	33,48	32,91	32,50	32,18	31,91	67,47	72,38	77,50	83,23	90,17

Углы  $\rho$  при  $\delta = 0,25\varphi$

		Активное давление					Пассивное давление				
$\varphi$	$\alpha$	$\beta$					$\beta$				
		20°	10°	0	-10°	-20°	20°	10°	0	-10°	-20°
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	30°	68,95	36,67	24,55	16,00	8,94	27,02	34,82	46,51	66,11	109,09
	20°	68,89	38,41	28,54	21,95	16,70	33,38	40,44	50,63	67,45	108,98
20°	10°	68,87	40,78	32,77	27,65	23,71	39,47	45,93	54,95	69,53	108,91
	0	68,88	43,60	37,16	33,20	30,24	45,37	51,33	59,39	72,15	108,87
	-10°	68,93	46,74	41,65	38,64	36,46	51,10	56,67	63,93	75,14	108,86
	-20°	69,01	50,13	46,23	44,01	42,44	56,70	61,95	68,54	78,41	108,89
	30°	44,10	30,34	21,80	15,13	9,22	31,89	39,14	49,26	64,69	89,92
	20°	44,49	32,62	25,79	20,72	16,42	37,90	44,51	53,42	66,69	89,15
25°	10°	45,51	35,45	30,03	26,16	22,99	43,70	49,80	57,76	69,33	89,26
	0	47,03	38,68	34,42	31,50	29,17	49,35	55,03	62,23	72,43	90,07
	-10°	48,95	42,19	38,93	36,77	35,10	54,87	60,23	66,79	75,84	91,41
	-20°	51,18	45,92	43,52	41,99	40,84	60,27	65,38	71,42	79,50	93,19
	30°	34,39	25,44	19,06	13,72	8,74	36,20	43,00	52,03	64,90	84,30
	20°	35,51	28,06	23,05	19,06	15,50	41,96	48,20	56,21	67,35	84,24
30°	10°	37,28	31,18	27,29	24,31	21,74	47,55	53,36	60,58	70,36	85,16
	0	39,55	34,67	31,70	29,49	27,66	53,01	58,48	65,08	73,77	86,79
	-10°	42,20	38,42	36,22	34,64	33,37	58,37	63,58	69,67	77,46	88,95
	-20°	45,15	42,37	40,83	39,76	38,93	63,62	68,66	74,33	81,37	91,51
	30°	27,63	21,26	16,32	11,97	7,76	40,16	46,59	54,80	65,95	81,87
	20°	29,27	24,11	20,31	17,12	14,17	45,72	51,67	59,02	68,72	82,48
35°	10°	31,55	27,45	24,56	22,23	20,14	51,15	56,74	63,42	72,01	84,03
	0	34,30	31,12	28,98	27,31	25,86	56,48	61,79	67,95	75,65	86,24
	-10°	37,40	35,04	33,52	32,37	31,41	61,71	66,83	72,57	79,54	88,93
	-20°	40,78	39,16	38,15	37,42	36,82	66,85	71,85	77,27	83,63	91,99
	30°	22,23	17,48	13,57	10,00	6,43	43,87	50,00	57,57	67,48	81,07
	20°	24,27	20,52	17,57	15,00	12,54	49,28	55,00	61,84	70,52	82,23
40°	10°	26,92	24,02	21,84	20,00	18,31	54,59	60,00	66,27	74,02	84,27
	0	30,00	27,84	26,27	25,00	23,87	59,81	65,00	70,83	77,84	86,92
	-10°	33,42	31,89	30,83	30,00	29,28	64,95	70,00	75,49	81,89	90,00
	-20°	37,12	36,14	35,49	35,00	34,59	70,00	75,00	80,24	86,14	93,42
	30°	17,61	13,96	10,82	7,87	4,84	47,40	53,29	60,36	69,32	81,24
	20°	19,96	17,14	14,84	12,75	10,71	52,70	58,23	64,67	72,58	82,86
45°	10°	22,88	20,78	19,12	17,67	16,31	57,91	63,19	69,14	76,25	85,29
	0	26,22	24,72	23,58	22,61	21,74	63,05	68,16	73,74	80,23	88,28
	-10°	29,89	28,89	28,16	27,57	27,04	68,12	73,14	78,45	84,43	91,67
	-20°	33,83	33,26	32,85	32,54	32,26	73,11	78,13	83,24	88,82	95,37

Углы  $\rho$  при  $\delta = 0,5\varphi$

Активное давление							Пассивное давление				
$\varphi$	$\alpha$	$\beta$					$\beta$				
		20°	10°	0	-10°	-20°	20°	10°	0	-10°	-20°
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	30°	69,07	40,00	28,47	20,00	12,78	32,02	40,00	51,55	70,00	109,15
	20°	69,00	41,07	31,55	25,00	19,68	37,80	45,00	55,09	71,07	109,06
20°	10°	68,97	42,90	35,09	30,00	26,02	43,43	50,00	58,94	72,90	108,99
	0	68,98	45,26	38,94	35,00	32,02	48,94	55,00	63,00	75,26	108,96
	-10°	69,01	48,01	43,00	40,00	37,80	54,35	60,00	67,22	78,01	108,97
	-20°	69,08	51,07	47,22	45,00	43,43	59,68	65,00	71,55	81,07	109,00
	30°	46,44	33,79	25,62	19,03	13,03	37,17	44,53	54,50	69,07	91,99
	20°	46,43	35,27	28,66	23,63	19,28	42,63	49,33	58,12	70,77	91,37
25°	10°	47,08	37,49	32,18	28,34	25,15	48,00	54,16	62,03	73,13	91,53
	0	48,27	40,22	36,03	33,12	30,79	53,28	59,03	66,15	75,96	92,33
	-10°	49,89	43,32	40,11	37,95	36,28	58,51	63,93	70,42	79,15	93,64
	-20°	51,86	46,72	44,34	42,81	41,66	63,67	68,84	74,82	82,61	95,35
	30°	37,22	28,90	22,77	17,51	12,49	41,76	48,62	57,48	69,66	87,34
	20°	37,72	30,63	25,77	21,81	18,23	47,00	53,30	61,18	71,79	87,36
30°	10°	38,98	33,10	29,28	26,32	23,74	52,19	58,04	65,16	74,53	88,27
	0	40,82	36,07	33,14	30,95	29,11	57,33	62,84	69,35	77,70	89,84
	-10°	43,12	39,41	37,23	35,66	34,39	62,43	67,69	73,69	81,19	91,92
	-20°	45,77	43,03	41,50	40,44	39,60	67,49	72,57	78,16	84,93	94,41
	30°	30,65	24,67	19,92	15,65	11,43	45,99	52,45	60,48	71,03	85,59
	20°	31,53	26,59	22,88	19,73	16,76	51,09	57,07	64,27	73,52	86,22
35°	10°	33,21	29,23	26,39	24,08	21,99	56,16	61,77	68,33	76,55	87,73
	0	35,49	32,38	30,26	28,60	27,15	61,21	66,54	72,59	79,98	89,87
	-10°	38,21	35,89	34,38	33,23	32,27	66,24	71,38	77,02	83,71	92,49
	-20°	41,30	39,69	38,69	37,95	37,36	71,25	76,28	81,59	87,69	95,49
	30°	25,32	20,84	17,08	13,57	10,00	50,00	56,13	63,51	72,87	85,32
	20°	26,49	22,87	20,00	17,46	15,00	55,00	60,72	67,40	75,66	86,49
40°	10°	28,49	25,66	23,51	21,69	20,00	60,00	65,41	71,55	78,95	88,49
	0	31,07	28,95	27,40	26,13	25,00	65,00	70,19	75,90	82,60	91,07
	-10°	34,11	32,60	31,55	30,72	30,00	70,00	75,05	80,43	86,55	94,11
	-20°	37,52	36,55	35,90	35,41	35,00	75,00	80,00	85,12	90,75	97,52
	30°	20,70	17,25	14,23	11,33	8,31	53,86	59,72	66,58	75,04	85,95
	20°	22,09	19,37	17,12	15,06	13,02	58,80	64,31	70,58	78,08	87,58
45°	10°	24,33	22,27	20,63	19,20	17,84	63,77	69,02	74,83	81,60	89,99
	0	27,17	25,68	24,55	23,59	22,71	68,75	73,84	79,29	85,47	92,95
	-10°	30,46	29,47	28,74	28,15	27,63	73,76	78,75	83,93	89,62	96,35
	-20°	34,13	33,56	33,15	32,84	32,56	78,79	83,79	88,76	94,04	100,10

Углы  $\rho$  при  $\delta = 0,75\varphi$

Активное давление							Пассивное давление				
$\varphi$	$\alpha$	$\beta$					$\beta$				
		20°	10°	0	-10°	-20°	20°	10°	0	-10°	-20°
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	30°	69,16	42,86	31,98	23,70	16,44	36,28	44,31	55,60	72,98	109,20
	20°	69,10	43,35	34,21	27,76	22,41	41,62	48,86	58,76	73,93	109,12
20°	10°	69,06	44,69	37,12	32,08	28,09	46,89	53,49	62,28	75,61	109,06
	0	69,05	46,65	40,48	36,57	33,58	52,11	58,20	66,07	77,82	109,04
	-10°	69,08	49,08	44,15	41,17	38,96	57,28	62,96	70,06	80,43	109,05
	-20°	69,14	51,85	48,05	45,84	44,26	62,41	67,76	74,21	83,35	109,10
	30°	48,46	36,88	29,15	22,74	16,75	41,67	49,02	58,72	72,48	93,57
	20°	48,09	37,63	31,26	26,32	21,97	46,74	53,42	62,01	74,03	93,10
25°	10°	48,42	39,27	34,11	30,31	27,12	51,79	57,95	65,65	76,24	93,34
	0	49,32	41,55	37,45	34,56	32,23	56,83	62,57	69,54	78,93	94,18
	-10°	50,69	44,30	41,12	38,98	37,31	61,85	67,27	73,63	81,99	95,49
	-20°	52,44	47,40	45,04	43,52	42,37	66,87	72,04	77,89	85,34	97,20
	30°	39,80	32,14	26,35	21,26	16,28	46,51	53,32	61,90	73,39	89,68
	20°	39,70	33,01	28,32	24,44	20,88	51,42	57,67	65,33	75,41	89,83
30°	10°	40,49	34,84	31,11	28,19	25,62	56,34	62,16	69,09	78,02	90,79
	0	41,94	37,32	34,44	32,26	30,43	61,29	66,76	73,10	81,08	92,39
	-10°	43,91	40,28	38,12	36,56	35,29	66,26	71,48	77,32	84,48	94,47
	-20°	46,30	43,60	42,08	41,02	40,19	71,25	76,30	81,73	88,17	96,96
	30°	33,57	28,06	23,58	19,46	15,30	51,03	57,41	65,15	75,08	88,49
	20°	33,66	28,97	25,40	22,31	19,37	55,85	61,75	68,73	77,48	89,24
35°	10°	34,75	30,90	28,13	25,84	23,77	60,73	66,26	72,63	80,43	90,81
	0	36,57	33,53	31,45	29,79	28,35	65,65	70,91	76,78	83,80	92,99
	-10°	38,93	36,65	35,16	34,02	33,05	70,63	75,69	81,16	87,50	95,64
	-20°	41,74	40,15	39,16	38,43	37,83	75,67	80,63	85,75	91,51	98,70
	30°	28,50	24,37	20,84	17,48	13,98	55,37	61,39	68,47	77,26	88,69
	20°	28,69	25,26	22,48	20,00	17,57	60,17	65,78	72,21	80,00	90,00
40°	10°	30,00	27,26	25,16	23,36	21,69	65,04	70,36	76,27	83,26	92,08
	0	32,08	30,00	28,47	27,22	26,09	70,00	75,09	80,60	86,92	94,75
	-10°	34,75	33,26	32,21	31,39	30,67	75,05	80,00	85,16	90,92	97,88
	-20°	37,88	36,92	36,27	35,78	35,37	80,24	85,12	90,00	95,26	101,43
	30°	24,12	20,95	18,13	15,38	12,44	59,62	65,34	71,89	79,79	89,77
	20°	24,34	21,76	19,58	17,58	15,57	64,45	69,82	75,81	82,85	91,58
45°	10°	25,80	23,80	22,20	20,79	19,44	69,38	74,50	80,06	86,41	94,12
	0	28,09	26,64	25,52	24,57	23,69	74,42	79,38	84,58	90,36	97,22
	-10°	31,00	30,02	29,30	28,71	28,19	79,62	84,47	89,38	94,67	100,80
	-20°	34,40	33,83	33,43	33,12	32,84	85,04	89,85	94,52	99,38	104,82

Углы  $\rho$  при  $\delta = \varphi$

Активное давление							Пассивное давление				
$\varphi$	$\alpha$	$\beta$					$\beta$				
		20°	10°	0	-10°	-20°	20°	10°	0	-10°	-20°
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	30°	69,25	45,42	35,21	27,22	20,00	40,00	47,98	58,95	75,37	109,24
	20°	69,17	45,37	36,63	30,32	25,00	45,00	52,20	61,85	76,28	109,16
20°	10°	69,13	46,28	38,95	33,98	30,00	50,00	56,57	65,16	77,88	109,12
	0	69,12	47,88	41,85	37,98	35,00	55,00	61,06	68,77	80,00	109,11
	-10°	69,14	50,00	45,16	42,20	40,00	60,00	65,65	72,60	82,52	109,13
	-20°	69,18	52,52	48,77	46,57	45,00	65,00	70,32	76,63	85,37	109,17
	30°	50,30	39,78	32,56	26,41	20,53	45,61	52,87	62,25	75,24	94,84
	20°	49,58	39,80	33,71	28,90	24,60	50,40	57,00	65,34	76,75	94,51
25°	10°	49,61	40,90	35,89	32,16	28,99	55,23	61,33	68,81	78,90	94,86
	0	50,25	42,76	38,74	35,88	33,56	60,11	65,79	72,57	81,53	95,76
	-10°	51,38	45,16	42,03	39,91	38,24	65,03	70,38	76,57	84,53	97,11
	-20°	52,93	47,99	45,66	44,15	43,00	70,00	75,11	80,78	87,86	98,84
	30°	42,30	35,37	30,00	25,16	20,32	50,72	57,40	65,66	76,49	91,59
	20°	41,59	35,32	30,84	27,08	23,57	55,41	61,55	68,95	78,49	91,89
30°	10°	41,89	36,49	32,87	30,00	27,46	60,19	65,90	72,60	81,07	92,96
	0	42,96	38,49	35,66	33,51	31,69	65,05	70,43	76,55	84,11	94,63
	-10°	44,63	41,07	38,95	37,40	36,13	70,00	75,12	80,75	87,52	96,78
	-20°	46,78	44,11	42,60	41,55	40,72	75,07	80,00	85,21	91,26	99,34
	30°	36,61	31,68	27,57	23,71	19,72	55,57	61,78	69,19	78,52	90,90
	20°	35,81	31,42	28,02	25,03	22,16	60,26	66,02	72,70	80,94	91,84
35°	10°	36,26	32,57	29,88	27,64	25,59	65,07	70,47	76,57	83,92	93,54
	0	37,60	34,65	32,60	30,97	29,54	70,00	75,13	80,74	87,34	95,83
	-10°	39,61	37,37	35,89	34,76	33,81	75,08	80,00	85,20	91,14	98,60
	-20°	42,16	40,58	39,59	38,87	38,28	80,38	85,16	90,00	95,32	101,83
	30°	32,12	28,50	25,32	22,23	18,95	60,32	66,14	72,87	81,07	91,58
	20°	31,08	27,88	25,26	22,87	20,52	65,08	70,52	76,63	83,91	93,11
40°	10°	31,58	28,95	26,92	25,16	23,51	70,00	75,13	80,75	87,27	95,37
	0	33,11	31,07	29,57	28,33	27,22	75,09	80,00	85,20	91,07	98,22
	-10°	35,37	33,91	32,87	32,05	31,34	80,43	85,16	90,00	95,30	101,58
	-20°	38,22	37,27	36,63	36,14	35,73	86,14	90,75	95,26	100,00	105,46
	30°	28,49	25,81	23,36	20,90	18,22	65,10	70,57	76,74	84,05	93,14
	20°	27,00	24,61	22,57	20,67	18,74	70,00	75,15	80,78	87,29	95,24
45°	10°	27,44	25,53	23,98	22,60	21,28	75,11	80,00	85,20	91,05	98,05
	0	29,09	27,66	26,57	25,63	24,76	80,47	85,17	90,00	95,28	101,45
	-10°	31,56	30,60	29,88	29,30	28,77	86,20	90,74	95,24	100,00	105,40
	-20°	34,68	34,11	33,71	33,40	33,12	92,57	96,98	101,14	105,36	110,00

По этим формулам были составлены таблицы значений  $\rho$  (в градусах) при следующих расчётных параметрах:  $\varphi$  от  $20^\circ$  до  $45^\circ$  шагом  $5^\circ$ ;  $\alpha$  от  $-20^\circ$  до  $30^\circ$  шагом  $10^\circ$ ;  $\beta$  от  $-20^\circ$  до  $20^\circ$  шагом  $10^\circ$ ;  $\delta = 0; 0,25\varphi; 0,5\varphi; 0,75\varphi$  и  $\varphi$ .

При  $\varphi = 20^\circ$  для всех углов  $\alpha$  и  $\delta$  углы  $\rho$  вычислялись при  $\beta = 19,99^\circ$  для активного и  $\beta = -19,99^\circ$  для пассивного давления.

В заключение сделаем некоторые **выводы**:

1. Таблицы позволяют без дополнительных расчётов получить положение плоскости скольжения в достаточно широком диапазоне исходных данных.

2. Наличие таблиц даёт возможность более обосновано определить область применения теории Кулона и возможно позволит наметить параметры стенок, где необходима дополнительная экспериментальная проверка этой теории.

3. В теории Кулона принято допущение, что поверхностная нагрузка, расположенная дальше точки выклинивания плоскости скольжения, не оказывает давления на стенку, а эпюры давления от полосовых нагрузок строятся на основе линий, параллельных плоскости скольжения. В этом случае возникает необходимость определения положения линии скольжения для данных исходных параметров.

В дальнейшем целесообразно проанализировать положение точки выклинивания на засыпке поверхности скольжения, полученной на основе ТТПНС [4,5] с точкой выклинивания, найденной на основании теории Кулона, что позволит разработать рекомендации по уточнению расчёта бокового давления от поверхностных полосовых нагрузок.

#### **Литература**

1. Яковлев П.И. Давление засыпки на гидротехнические сооружения в сложных случаях. М.: Рекламинформбюро ММФ, 1974.- 63 с.
2. Удовиченко В.Н., Яковлев П.И. Морские и речные гидротехнические сооружения. – М.: Транспорт, 1976.- 416 с.
3. Яковлев П.И. Взаимодействие гидротехнических сооружений с грунтом. М.: В/О Мортехинформреклама, 1986.- 59 с.
4. Яковлев П.И. Исследование и разработка методов расчёта портовых гидротехнических сооружений на основе технической теории предельного напряжённого состояния грунтовой среды: Автореф. дис. д-ра техн. наук.- Л., 1981.- 40 с.
5. Яковлев П.И. Устойчивость транспортных гидротехнических сооружений.- М.: Транспорт, 1986.- 191 с.