

## АРАЛАШМА ГРУНТЛАРНИНГ МУСТАҲКАМЛИК ВА ДЕФОРМАЦИЯ КЎРСАТГИЧЛАРИНИ ЭҲТИМОЛИЙ СТАТИСТИК ТАҲЛИЛИ

Мустанов Илғоржон Шокир ўғли, Парманов Муродқосим Нодир ўғли

*Самарқанд давлат архитектура-қурилиш университети “Автомобил йўллари, замин ва пойдеворлар” кафедраси ўқитувчиси*

### ARTICLE INFO.

**Калит сўзлар:** Кум ва тупроқ, деформация, мустаҳкамлик, ғоваклик коэффициенти, деформация модули, мустаҳкамлик кўрсаткичи.

### Аннотация

Ушбу мақолада аралашма грунтларнинг мустаҳкамлик ва деформация кўрсаткичларини таҳлил қилиш, олиб борилган ишлар асосида эҳтимолий статистик таҳлил қилинган. Сир эмаски, ҳар бир географик ҳудудга мослаштириб лойиҳаланган ҳар қандай бино ёки иншоот аниқ бир қурилиш майдонига мослаштирилади. Бунинг учун эса, қурилиш майдонининг муҳандислик-геологик шарт-шароитлари, биринчи навбатда грунтларнинг хусусиятларини тажрибада аниқланган натижалар асосидагина баҳоланади. Тажриба натижалари эса, уларга таъсир этувчи омилларнинг ниҳоят кўплиги туфайли ҳар сафар ҳар хил қийматга эга бўлади, яъни синовдан синовга ўзгариб боради. Бу узгаришларни асослаш мақсадида синовлар ўтказилган.

<http://www.gospodarkainnowacje.pl/> © 2023 LWAB.

Грунтлар механикаси, асос ва пойдеворлар фанлари тажриба ва синов натижаларига асосланган муҳандислик фанларидандир. Сир эмаски, ҳар бир географик ҳудудга мослаштириб лойиҳаланган ҳар қандай бино ёки иншоот аниқ бир қурилиш майдонига мослаштирилади. Бунинг учун эса, қурилиш майдонининг муҳандислик-геологик шарт-шароитлари, биринчи навбатда грунтларнинг хусусиятларини тажрибада аниқланган натижалар асосидагина баҳоланади. Тажриба натижалари эса, уларга таъсир этувчи омилларнинг ниҳоят кўплиги туфайли ҳар сафар ҳар хил қийматга эга бўлади, яъни синовдан синовга ўзгариб боради. Грунт кўрсаткичларини бундай ўзгарувчан қийматларини эҳтимоллар назариясида "тасодифий миқдорлар" деб атайдилар [8,9,27,45]. Шундай экан, грунтлар билан боғлиқ ҳар қандай тажриба синов натижаларини фақатгина тасодифий миқдор ва ходисалар ҳақидаги фан бўлмиш эҳтимоллар назарияси ва математик-статистика усулларига биноан таҳлил этиш лозим бўлади. Шу жумладан, эҳтимоллар назарияси ва математик статистика усулларини қўллаш, мақолада ишининг асосий мақсади бўлмиш қуйдаги асосий масалаларни ечиш имконини беради:

- сонли (тасодифий) миқдор кўринишида ифодаланган грунтларнинг тажриба натижаларида кўйилган хатоликлар бор ёки йўқлигини аниқлаш ;
- грунтларнинг физик кўрсаткичлари билан деформация ҳамда мустаҳкамлик кўрсаткичлари орасида боғлиқлик бор ёки йўқлиги, бор бўлса қай даражада боғлиқлигини баҳолаш;
- таҳлил этилаётган кўрсаткичларни ўртача статистик (арифметик), меъерий ва ҳисобий қийматларини аниқлаш;
- ҳисобий кўрсаткичларнинг ўзгариши ва ишончлилик чегараларини баҳолаш;

- грунтларнинг физик кўрсаткичларига боғлиқ равишда деформация ва мустахкамлик кўрсаткичларини ишончлилик чегараларига қараб жадваллаштириш.

Айтиш лозимки, ҳозиргача ўта жиддий меъёрий ҳужжатларда ҳам, грунт кўрсаткичларини меъёрий ва ўртача арифметик қийматлари эҳтимоллар назариясига мос ҳолда талқин этилмайди. Масалан, грунт кўрсаткичларининг ўртача арифметик (статистик) қийматлари, уларнинг меъёрий қийматлари этиб олинади [40,41]. Вахоланки, грунт кўрсаткичларини тажрибада аниқланган сони, уларни ваколатлилигини таъминлаган ҳолдагина ўртача статистик миқдорини меъёрий қиймат сифатида қабул қилиш мумкин бўлади [46,47]. Амалдаги меъёрий ҳужжатларда табиий структура ва намликка эга бўлган грунтларнинг деформация ва мустахкамлик кўрсаткичлари ғоваклик коэффициенти  $e$  ва ҳолат кўрсаткичи  $J$ , га боғлиқ равишда жадваллаштирилган [40,56,57]. Кум ва тупроқ грунтларнинг асосий физик кўрсаткичлари сифатида унинг зичлигини, намлигини ва қаттиқ заррачалар зичлигини ўзида акс эттирувчи кўрсаткич бўлмиш – ғоваклик коэффицентини қабул қилиш мақсадга мувофиқдир.

**Ғоваклик коэффициенти бўйича:** Ўтказилган тажрибалар асосида кум ҳамда структураси бузилган тупроқ аралашмасининг ғоваклик коэффициенти билан компрессияли деформация модулининг қийматлари орасидаги боғланиш олинди. Кейинги таҳлиллар учун аниқланган кўрсаткичлар (3.1) – жадвалда келтирилган.

3.1– жадвал

т/р	100% тупроқ			50%кум ва 50%тупроқ			100%кум		
	$e_i$	$e - e_i$	$(e - e_i)^2$	$e_i$	$e - e_i$	$(e - e_i)^2$	$e_i$	$e - e_i$	$(e - e_i)^2$
1.	1.18	0.01	0.0001	1.35	-0.05	0.0025	1.41	0	0
	1.09	0.1	0.01	1.21	0.09	0.0081	1.42	-0.01	0.0001
2.	1.23	-0.04	0.0016	1.30	0	0	1.41	0	0
	1.31	-0.12	0.0144	1.37	-0.07	0.0049	1.42	-0.01	0.0001
3.	1.22	-0.03	0.0009	1.20	0.1	0.01	1.395	0.015	0.00023
	1.11	0.08	0.0064	1.38	-0.08	0.0064	1.4	0.01	0.0001
6.						$\sum 7.14$			
	$\sum 7.14$	$\sum 0.0334$		$\sum 7.81$		$\sum 0.032$	$\sum 8.46$		$\sum 0.00053$

Аниқланган ғоваклик коэффицентининг қийматлари орасида тасодифий хато бор ёки йўқлиги қуйидаги тенгсизликни бажарилиши ёки бажарилмаслиги орқали аниқланади [9,46].

$$\Delta_{max} \leq v S_{dis}, \quad (3.1)$$

бу ерда,  $\Delta_{max}$  – ғоваклик коэффицентининг энг катта ва энг кичик қийматлари;  $v$  – тажрибалар сонига боғлиқ равишда жадваллардан олинидиган статистик кўрсаткич [33];  $S_{dis}$  – аниқланган ғоваклик коэффицентининг ўртача квадратик четланиши, бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{\sum (e - e_i)^2}{n}}, \quad (3.2)$$

бу ерда  $\bar{e} = \frac{\sum e_i}{n}$  тажриба орқали аниқланган ғоваклик коэффицентининг ўртача арифметик миқдори;  $n$  синовлар сони. Ўтказилган **100% тупроқ** учун 6 та тажрибалар натижасида аниқланган ғоваклик коэффицентини қийматлари орасида кўпол хато бор ёки йўқлигини аниқлаймиш. Ғоваклик коэффицентининг ўртача арифметик қиймати

$$\bar{e} = \frac{7.14}{6} = 1.19$$

Ўртача квадратик четланиш қиймати

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{0.0334}{6}} = 0.075$$

Тажрибалар сони 6 та бўлганда, [32] манбага асосан статистик кўрсаткич  $v=2.16$  ни ташкил этади. Унда,

$$v S_{dis} = 2.16 \cdot 0.075 = 0.162$$

3.1– жадвалдан ғоваклик коэффициентининг энг катта қиймати  $e_{max}=1.31$ га тенг. Унда ,

$$\Delta'_{max} = |1.19 - 1.31| = 0.12 < vS_{dis} = 0.162$$

кичик қиймати эса  $e_{min}=1.09$  га тенг. Шу сабабдан ,

$$\Delta'_{min} = |1.19 - 1.09| = 0.1 < vS_{dis} = 0.162.$$

Демак, жадвалдаги **100% тупрокнинг** ғоваклик коэффициенти орасида қўпол хато йўқ экан.

Худди шу жадвалдан , ўша тартибда 50% кум ва 50% кумоқ, грунт аралашмалари учун 6 тадан ғоваклик коэффициенти қийматлари орасида қўпол хато йўқлигига амин бўламиз:

**50% кум ва 50% тупрок** грунт учун:

$$\bar{e} = \frac{7.81}{6} = 1.3 ; v = 2.16.$$

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{0.032}{6}} = 0.073$$

$$vS_{dis} = 2.16 \cdot 0.073 = 0.16.$$

$e_{max}=1.38$  бўлганда,

$$\Delta'_{max} = |1.30 - 1.38| = 0.08 < vS_{dis} = 0.16.$$

$e_{min}=1.2$  бўлганда,

$$\Delta'_{min} = |1.3 - 1.2| = 0.1 < vS_{dis} = 0.16.$$

Демак, жадвалдаги **50 % кум ва 50% тупрок** грунт аралашмасининг ғоваклик коэффициенти орасида қўпол хато йўқ экан.

**100% кум** учун:

$$\bar{e} = \frac{8.46}{6} = 1.41 ; v = 2.16 ;$$

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{0.00053}{6}} = 0.0094$$

$$vS_{dis} = 2.16 \cdot 0.0094 = 0.02.$$

$e_{max}=1.42$  бўлганда,

$$\Delta'_{max} = |1.41 - 1.42| = 0.01 < vS_{dis} = 0.02.$$

$e_{min}=1.395$  бўлганда ,

$$\Delta'_{min} = |1.395 - 1.41| = 0.015 < vS_{dis} = 0.02.$$

Демак, қўпол хато мавжуд эмас.

**Деформация модули бўйича:** Грунтларнинг аниқланган компрессияли деформация модулининг қийматлари орасида қўпол хато бор ёки йўқлигини аниқлаймиз. Деформация модулининг статистик қийматлари 3.2– жадвалда келтирилган.

3.2– жадвал

т/р	100% тупрок			50%қум ва 50%тупрок			100%қум		
	$E_i$	$E - E_i$	$(E - E_i)^2$	$E_i$	$E - E_i$	$(E - E_i)^2$	$E_i$	$E - E_i$	$(E - E_i)^2$
1.	0.471	0.125	0.016	1.142	-0.082	0.0067	9.64	0.04	0.0016
	0.800	-0.2	0.04	1.00	0.06	0.0036	9.756	-0.076	0.0058
2.	0.615	-0.015	0.00023	1.067	-0.007	0.0005	9.639	0.041	0.00168
3.	0.47	0.13	0.017	1.23	-0.17	0.03	9.756	-0.076	0.0058
4.	0.67	-0.07	0.0049	1.01	0.05	0.0025	9.639	0.041	0.00168
5.	0.57	0.03	0.0009	0.91	0.15	0.023	9.638	0.042	0.00176
6.									
	$\Sigma 3.6 \Sigma 0.079$			$\Sigma 6.34 \Sigma 0.06$			$\Sigma 58.07 \Sigma 0.0185$		

Деформация модулининг ўртача арифметик қиймати:

$$\bar{E} = \frac{3.6}{6} = 0.6 \text{ МПа};$$

ўртача квадратик четланиш қиймати:

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{0.079}{6}}$$

Тажирибалар сони 6 та бўлганда [18] га асосан статистик кўрсаткич

$v = 2.16$  ни ташкил этади. Унда ,

$$vS_{dis} = 2.16 \cdot 0.115 = 0.25$$

3.2–жадвалдан деформация модулининг энг катта қиймати  $e_{max} = 0.8$  қийматига тўғри келади. Унда ,

$$\Delta'_{max} = |0.6 - 0.8| = 0.2 < vS_{dis} = 0.25;$$

Энг кичик қиймати эса  $e_{min} = 0.47$  га га тўғри келади. Шу сабабдан ,

$$\Delta'_{min} = |0.6 - 0.47| = 0.13 < vS_{dis} = 0.25$$

Демак, жадвалдаги **100% тупрокнинг** деформация модули орасида қўпол хато йўқ экан.

**50% қум ва 50% тупрок** учун:

Деформация модулининг ўртача арифметик қиймати:

$$\bar{E} = \frac{6.34}{6} = 1.06 \text{ МПа}$$

Ўртача квадратик четланиш қиймати:

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{0.06}{6}} = 0.1 ;$$

статистик кўрсаткич  $v = 2.16$  ни ташкил этади. Унда:

$$vS_{dis} = 2.16 \cdot 0.1 = 0.21.$$

$e_{max} = 1.23$  га тенг бўлганда,

$$\Delta'_{max} = |1.06 - 1.23| = 0.17 < vS_{dis} = 0.21.$$

$e_{min} = 0.47$  га тенг бўлганда,

$$\Delta'_{min} = |1.06 - 0.91| = 0.15 < vS_{dis} = 0.21.$$

Демак, жадвалдаги **50 %қум ва 50% тупрок** грунт аралашмасининг деформация модули орасида қўпол хато йўқ экан.

00% қум учун:

$$\bar{E} = \frac{58.07}{6} = 9.68 \text{ МПа};$$

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{0.0183}{6}} = 0.055;$$

статистик кўрсаткич  $v = 2.16$  ни ташкил этади. Унда:

$$vS_{dis} = 2.16 \cdot 0.055 = 0.12$$

$e_{max} = 9.756$  учун,

$$\Delta'_{max} = |9.68 - 9.756| = 0.08 < vS_{dis} = 0.12$$

$e_{min} = 9.638$  га тенг бўлганда ,

$$\Delta'_{min} = |9.68 - 9.638| = 0.042 < vS_{dis} = 0.12.$$

Демак, **100% қум** бўлганда қўпол хато мавжуд эмас.

**Мустаҳкамлик кўрсаткичлари бўйича:** Баён этганимиздек, грунтларнинг мустаҳкамлик кўрсаткичлари (3.1) ифодага биноан тажриба орқали, кесувчи ускунада аниқланди. Грунт намуналарининг мустаҳкамлик кўрсаткичларини аниқлашда уларга узати– ладиган нормал кучланиш олдиндан белгиланиши ва аниқлиги туфайли қўпол хато фақатгина якуний натижа бўлмиш уринма кучланишни аниқлашда рўй бериши мумкин. Шунинг учун тажриба натижалари орасида қўпол хатони аниқлаш мақсадида нормал кучланишнинг  $\sigma_1 = 100$ кПа,  $\sigma_2 = 200$  кПа,  $\sigma_3 = 300$  кПа қийматларига мос келган уринма кучланишлар қийматлари ҳамда уларнинг бирламчи статистик кўрсаткичлари, бир неча босқич туркум синовлар учун 3.3 – жадвалда келтирилган. Ушбу олинган натижалар учун намуналарнинг зичлиги  $\rho = 1.1 \text{ г/см}^3$  ни ташкил этди.

3.3– жадвал

т/р	$\sigma_1 = 100 \text{ кПа}$			$\sigma_2 = 200 \text{ кПа}$			$\sigma_3 = 300 \text{ кПа}$		
	$\tau_i$ кПа	$\bar{\tau} - \tau_i$	$(\bar{\tau} - \tau_i)^2$	$\tau_i$ кПа	$\bar{\tau} - \tau_i$	$(\bar{\tau} - \tau_i)^2$	$\tau_i$ кПа	$\bar{\tau} - \tau_i$	$(\bar{\tau} - \tau_i)^2$
1.	60	4.3	18.5	100	5	25	150	-11.7	136.9
2.	64	0.3	0.09	110	-5	25	136	2.3	5.3
3.	63	1.3	1.7	100	5	25	133	5.3	28.1
4.	65	-0.7	0.49	110	-5	25	148	-9.7	94.1
5.	65	-0.7	0.49	110	-5	25	146	18.3	334.9
6.	69	-4.7	22.1	100	5	25	120	-7.7	59.29
			$\Sigma 43.4$			$\Sigma 150$			$\Sigma 658.59$

3.3– жадвалдан фойдаланиб, нормал кучланишнинг  $\sigma_1 = 100$  кПа қийматида уринма кучланишларнинг ўртача арифметик қийматини аниқлаймиз:

$$\bar{\tau}_i = \frac{\sum \tau_i}{n} = \frac{60+64+63+65+65+69}{6} = 64.3 \text{ кПа.}$$

Уринма кучланишларнинг ўртача квадратик четланиши эса қуйидаги ифодага биноан:

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{\tau}_1 - \tau_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{43.4}{6}} = 2.7 \text{ кПа.}$$

ни ташкил этади.

Тажрибалар сони 6 та бўлганда, [36] га биноан статистик кўрсаткич  $v = 2.16$  ни ташкил этади. Шунинг учун:

$$vS_{dis} = 2,16 \cdot 2,7 = 5,8$$

(3.1) ифодага биноан:

$$|\bar{\tau}_1 - \tau_i| = |64.3 - 60| = 4.3 < 5.8.$$

Демак, биринчи туркум ( $\sigma_1 = 100$  кПа) тажриба натижалари орасида қўпол хато йўқ экан.

Худди шундай, 3.3– жадвалдан фойдаланиб, нормал кучланишнинг  $\sigma_2 = 200$  кПа қийматидаги иккинчи туркум синов натижаларини текшираимиз:

$$\bar{\tau}_2 = \frac{\sum \tau_i}{n} = 105 \text{ кПа};$$

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{150}{6}} = 5 \text{ кПа};$$

$$vS_{dis} = 2,16 \cdot 5 = 10.8 \text{ кПа};$$

$$|\bar{\tau}_2 - \tau_i| = |105 - 100| = 5 < 10.8 \text{ кПа}.$$

Демак, иккинчи туркум синов натижалари орасида ҳам қўпол хато йўқ экан.

Юқоридагидек, нормал кучланишнинг  $\sigma_3 = 300$  кПа қийматидаги синов натижаларини текшираимиз:

$$\bar{\tau}_3 = \frac{\sum \tau_i}{n} = 138,8 \text{ кПа};$$

$$S_{dis} = \sqrt{\frac{6528.3}{6}} = 32,99 \approx 33 \text{ кПа};$$

$$vS_{dis} = 2,16 \cdot 33 = 71.3 \text{ кПа};$$

$$|\bar{\tau}_3 - \tau_i| = |138,3 - 120| = 18,3 < 33 \text{ кПа}.$$

Учинчи туркум синов натижалари орасида ҳам қўпол хато йўқ экан.

Агарда, синов натижалари орасида қўпол хато учраганда эди, ўша натижани (ёки натижаларни) кейинги эҳтимолий статистик таҳлилларга қўшмай, чиқариб ташлаш зарур бўлар эди.

Шу туфайли, кўрсаткичларнинг меъерий ва ҳисобий қийматларини аниқлашда олинган ҳамма синов натижалари (кейинги) эҳтимолий статистик таҳлилларда қатнашишлари лозим бўлади.

Синов натижалари орасида қўпол хатоларнинг йўқлиги, тажрибада олинган грунт намуналарининг биржинслигидан, ҳамда ўтказилган тажриба ишларининг сифатлилигидан далолат беради.

Иккинчи босқич уч туркум синовлар, нормал кучланишнинг  $\sigma_1 = 100$  кПа,  $\sigma_2 = 200$  кПа,  $\sigma_3 = 300$  кПа қийматларида ўтказилиб, грунт намуналарининг зичлиги  $\rho = 1.6 \text{ г/см}^3$  га оширилди. Олинган синов натижалари 3.4– жадвалда келтирилган.

3.4–жадвал.

т/р	$\sigma_1 = 100 \text{ кПа}$			$\sigma_2 = 200 \text{ кПа}$			$\sigma_3 = 300 \text{ кПа}$		
	$\tau_i$ кПа	$\bar{\tau} - \tau_i$	$(\bar{\tau} - \tau_i)^2$	$\tau_i$ кПа	$\bar{\tau} - \tau_i$	$(\bar{\tau} - \tau_i)^2$	$\tau_i$ кПа	$\bar{\tau} - \tau_i$	$(\bar{\tau} - \tau_i)^2$
1.	60	6.2	38.4	98	5.3	28.1	140	-3.7	13.7
2.	65	1.2	1.44	100	3.3	11	148	-11.7	137
3.	68	-1.8	3.24	108	-4.7	22.1	130	6.3	39.7
4.	70	-3.8	14.44	99	4.3	18.5	125	11.3	127.7
5.	69	-2.8	7.84	105	-1.7	2.9	130	6.3	39.7
6.	65	1.2	1.44	110	-6.7	44.9	145	-8.7	75.7
	$\Sigma 397$		$\Sigma 66.8$			$\Sigma 127.5$			$\Sigma 433.5$

Худди биринчи боскичдагидек, 3.4– жадвалдан фойдаланиб, кўпол хато бор ёки йўклигини текшираимиз. Яъни  $\sigma_1 = 100$  кПа учун:

$$\begin{aligned}\bar{\tau}_1 &= \frac{\sum \tau_i}{n} = 66.2 \text{ кПа}; \\ S_{dis} &= \sqrt{\frac{66.8}{6}} = 3.34 \text{ кПа}; \\ \nu S_{dis} &= 2,16 \cdot 3.34 = 7.21 \text{ кПа}; \\ |\bar{\tau}_1 - \tau_i| &= |66.2 - 60| = 6.2 < 7.21 \text{ кПа}.\end{aligned}$$

Демак, биринчи туркум синов натижалари орасида кўпол хато йўқ экан.

Иккинчи туркум,  $\sigma_2 = 200$  кПа учун.

$$\begin{aligned}\bar{\tau}_2 &= \frac{\sum \tau_i}{n} = 103.3 \text{ кПа}; \\ S_{dis} &= \sqrt{\frac{127.5}{6}} = 4.61 \text{ кПа}; \\ \nu S_{dis} &= 2,16 \cdot 4.61 = 9.96 \text{ кПа}; \\ |\bar{\tau}_2 - \tau_i| &= |103.3 - 110| = 6.7 < 9.96 \text{ кПа}.\end{aligned}$$

Кўпол хато йўқ.

Учинчи туркум,  $\sigma_3 = 300$  кПа учун:

$$\begin{aligned}\bar{\tau}_3 &= \frac{\sum \tau_i}{n} = 136.3 \text{ кПа}; \\ S_{dis} &= \sqrt{\frac{433.5}{6}} = 8.5 \text{ кПа}; \\ \nu S_{dis} &= 2,16 \cdot 8.5 = 18.4 \text{ кПа}; \\ |\bar{\tau}_3 - \tau_i| &= |136.3 - 145| = 8.7 < 18.4 \text{ кПа}.\end{aligned}$$

Учинчи туркум синов натижалари орасида ҳам кўпол хато йўқ экан.

### Хулоса

Ушбу грунтларни механик кўрсаткичларини физик хусусиятларига боғлиқ равишда эҳтимолий–статистик усуллар орқали асослаш ва боғланиш графикларини куриш учун лаборатория шароитида комплексли тажриба–синов ишлари бажарилди. Уларнинг натижаларини эҳтимолий–статистик усуллар ёрдамида таҳлил этилди. Эҳтимолий–статистик таҳлил этиш жараёнида тажриба–синов натижаларида турли сабабларга кўра рўй бериши мумкин бўлган кўпол хатоликлар эҳтимолий нуқтаи назардан баҳолангандан сўнггина, қолган тажриба натижалари асосий таҳлилга киритилди.

### Фойдаланилган адабиётлар

1. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. –М.: Стройиздат. 1981. – 351 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. –М.: Наука, 1969. – 576 с.
3. Газиев Э.Г. Механика скальных пород в строительстве. –М.: Стройиздат, 1973. – 167 с.
4. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. –М.: Стройиздат, 1971.–361с.
5. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. –М.: Стройиздат, 1973. – 375 с.

6. ГОСТ 12536–79 Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.–М., 1980.
7. ГОСТ 5180–84 Методы лабораторного определения физических характеристик. –М.,1986.
8. ГОСТ 25584 – 90. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. –М., 1990.