УДК: 532.546

Бексултанов Ж.Т.

И.Арабаев ат. КМУ

ГИДРОДИНАМИКАЛЫК ПРОЦЕССТЕРДИН КӨЧКҮ ЖҮРҮҮЧҮ ТОО БЕТТЕРИНИН ТУРУКТУУЛУГУНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРЛЕРИН ЭСЕПТӨӨ

Бардыгыбыз билгендей, Кыргызстанда жер көчкү процесси абдан көп болот. Көчкү өлкөнүн элине, айыл чарбасына жана экономикасына абдан чоң зыяндарды алып келет. Ошондуктан көчкү жүрүүчү жантайма беттердин туруктуулугун эсептөө маанилүү маселе болуп эсептелет. Бул иште гидродинамикалык процесстердин көчкү жүрүүчү жантайма беттин туруктуулугуна тийгизген таасирлерин эсептөө боюнча методдор келтирилген. Ошондой эле майда суулардын физикалык теориясынын негизинде, көчкү агымдарынын кыймылын баяндап жазуучу, так аналитикалык чыгарылышын табуу жөнүндө маселе каралган.

Негизги сөздөр: *көчкү, жантайма беттин туруктуулугу, суюктуктун агымы, фильтрация, гидродинамикалык процесстер.*

Территория Кыргызстана, как нам известно, подвержена оползневым процессам. Оползни наносят большой ущерб народному хозяйству и населению страны. Поэтому, важной проблемой является расчет устойчивости горных склонов против оползания. В данной работе рассмотрены методы расчета воздействия гидродинамических процессов для устойчивости склонов против оползания. Формулируются и решаются граничные задачи фильтрации грунтовых вод в оползневых склонах. Далее рассматриваются начально-краевые задачи инфильтрации жидкости в этих же склонах за счет атмосферных осадков, поверхностного стока, снеготаяния и т.д.

Ключевые слова: *оползни, устойчивость склонов, фильтрация жидкости, гидродинамические процессы.*

The territory of Kyrgyzstan, as we know, is subject to landslide processes. Landslides cause great damage to the national economy and the population of the country. Therefore, an important problem is the calculation of the stability of mountain slopes against landslides. In this paper, we consider methods for calculating the effect of hydrodynamic processes for the stability of slopes against landslides. The boundary problems of groundwater filtration in landslide slopes are formulated and solved. Further, initial-boundary problems of fluid infiltration in the same slopes due to atmospheric precipitation, surface runoff, snow melting, etc. are considered.

Key words: *landslides, slope stability, fluid filtration, hydrodynamic processes.*

Табигый катастрофалык процесстерди, өзгөчө, акыркы жылдары Кыргызстандын аймагында кеңири таралып кеткен жер көчкүлөрүн изилдөө үчүн пайдаланууга эң ыңгайлуу инструменттердин бири болуп механиканын жана математикалык физиканын аналитикалык методдору эсептелет. Жер көчкүсүн изилдөөдөгү бирден-бир маанилүү маселелердин бири болуп тоо беттеринин туруктулугун механиканын закондорунун негизинде изилдөө саналат. Жантайма беттердин туруктуулугуна атмосфералык жаан-чачындар жана топурактагы суулардын деңгээли өзгөчө таасир тийгизет.

Климаттык, гидрогеологиялык, метеорологиялык, гидрологиялык шарттардын, жер үстүндөгү суулардын, карлардын эришинин таасирлери аркылуу көчкү коркунучун туудуручу тоо беттеринде нымдуулуктун өтүшү же суюктуктун кыймылы жүрөт. Бул гидродинамикалык процесстер, кокусунан бат суюлуучу же гидродинамикалык бузулуу көчкүлөрү жана башка ушул сыяктуу көчкүлөрдүн түрлөрү үчүн пайда болуусунун жана өнүгүүсүнүн негизги факторлору болуп эсептелет. Ошондуктан көчкү жүрүүчү тоо беттеринин туруктуулугун эсептөө маселесин изилдөө эң маанилүү жана негизги болуп

эсептелет.

Суюктуктун динамикасы топурактык массивдерге таасир берип, алардын тең салмактуулук абалынын бузулушуна жана туруктуулугунун жоголушуна алып келип, андан ары мүмкүн болгон башка кошумча шарттарда же ар кандай таасир берүүсүнүн негизинде жер көчкүсүнүн жүрүүсүнө алып келет.

Бардыгыбыз билгендей, бир дагы тоо беттерин чарбалык өздөштүрүүдөгү же жер алдындагы имараттарды куруудагы долбоордук иштерди аткаруу боюнча чечим көчкү жүрүүчү беттердин жана жантайма тоо боорлорунун туруктуулук деңгээлин сандык эсептебей туруп кабыл алынбайт.

Азыркы күндө жантайма беттердин туруктуулугун эсептөө боюнча көптөгөн методдор белгилүү. Ал методдор өздөрүнүн эсептөө схемаларында көчкүлөрдүн типтеринин көп түрдүүлүгүн, жылмышуу беттеринин формаларын, көчкү жүрүү чектеринин абалынын жайланыш ордун, топурактын тутумунун өзгөчөлүгүн эске алуу менен туруктуулук коэффициентин аныктоого байланыштуу ар кандай божомолдоолор колдонулат. Ошол эле учурда туруктуулукту текшерүүчү эсептөөлөр тегиздиктеги маселелер шартында жүргүзүлөт.

Көчкү кубулуштарын изилдөөдө жана прогноздоодо практикада кеңири таралган жана көбүрөөк колдонулуучу туруктуулукту төмөндөгүдөй эсептөө методикалары менен келтирели:

1. Тегерек цилиндрлүү беттик жылмышуу методу. Туруктуулукту эсептөөнүн берилген методу массивдин жылмышуусу, көчкүнүн монолиттүү тулку боюнун «О» борборунун айланасында айлануу жолу аркылуу жүрөт деп болжолдойт (Сүрөт 1.а). Пределдик тең салмактуулуктун шарты болуп, көчкүнүн тулку боюна «О» чекитине салыштырмалуу бардык таасир берүүчү күчтүн абалынын барабардыгы эсептелет. Ошол эле учурда көчкү денеси АВС бир катар бөлүктөргө бөлүнөт жана бардык катмарлардын бардык көлөмдүк массасын γ эске алуу менен, кошулуучу көчкү денеси, i – бөлүкчөнүн жылмышуу сызыгынын борборуна коюлган P_i ар бир бөлүкчөсүнүн салмагы эсептелет. Андан ары, N_i радиусу боюнча багытталган жана T_i жылмышуу сызыгынын жанымасы боюнча P_i ни түзүүчүлөргө ажыратып, тең салмактуулук теңдемесин алабыз:

$$\sum T_i \cdot R - \sum N_i \cdot tg\varphi \cdot R - \sum c_i \cdot l_i \cdot R = 0 \qquad (1)$$

мында R – көчкү денесинин айлануу радиусу; φ_i жана c_i – эффективдүү күчөнүү аркылуу туюнтулган ички сүрүлүүнүн бурчу жана топурактын илешкектиги (сцепление грунта); L – жылмышуу ийрисинин узундугу; горизонтко карата T_i вектордун жантаюу бурчунун сызыгы боюнча өлчөнгөн мааниси аркылуу N_i жана T_i эсептелет.

$$T_i = P_i \cdot \sin\alpha_i\,; \qquad N_i = P_i \cdot \cos\alpha_i \qquad (2)$$

Ошол эле учурда бөлүктөрдүн вертикалдык капталы боюнча ички өз ара аракеттенишүү күчү эсептөөдө эске алынбайт [1], [2], [3]. Жантайма тоо бетинин туруктуулук коэффициенти көчкү тулкусун кармоочу күчтөрдүн абалдарынын суммасынын аны жылдырууга аракеттенүүчү күчтөрдүн абалдарынын суммасына болгон катышы менен аныкталат:

$$K_{тур} = \frac{\sum M_{карм}}{\sum M_{жылд}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (P_i \cdot \cos\alpha_i \cdot tg\varphi_i + c_i \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^{N} P_i \cdot \sin\alpha_i} \qquad (3)$$

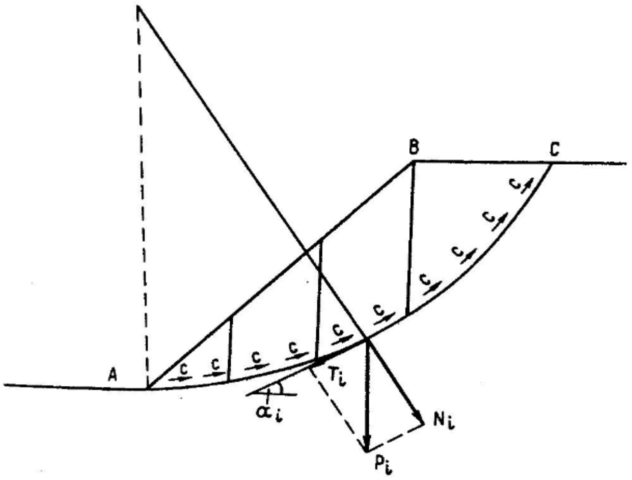
2. Жантайма жөлөнүү методу (метод прислоненного откоса). Мында дагы көчкү денеси бөлүктөргө бөлүнөт. Анын саны жылышуу бетинин тик бурчтуу кесиндилеринин саны менен аныкталат (Сүрөт 1.б). i – бөлүкчөсү үчүн тең салмактуулук шартын карайлы.

Бөлүкчөнүн грандарына β_{i-1} жана β_i бурчтары менен бөлүкчөнүн вертикалдык грандарына E_{i-1} жана E_i көчкү басым күчтөрү жумшалган. P_i түзүүчү салмагы жогорудагы эсептөө методуна окшош эле аныкталат. Кесилиштин негизине карата нормалга жана жылмышуу бетинин багытына, бардык күчтөрдү проекциялоо жолу менен төмөндөгүдөй тең салмактуулук теңдемелери түзүлөт.

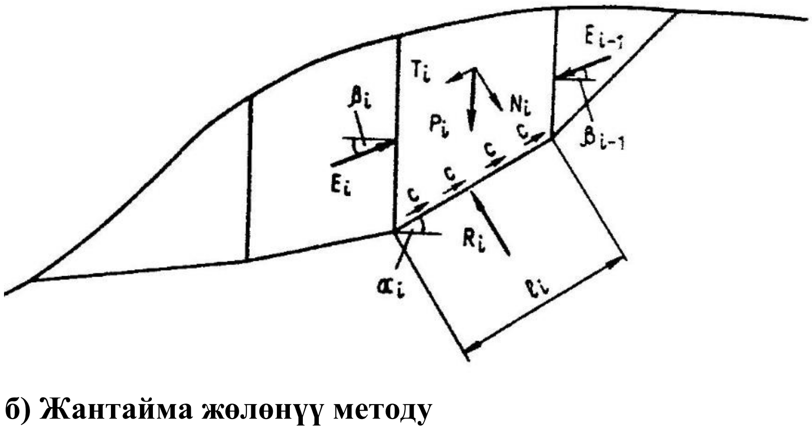
$$R_i = N_i + E_i \cdot \sin(\alpha_i - \beta_i) - E_{i-1} \cdot \sin(\alpha_i - \beta_{i-1}) \quad (4)$$

$$T_i = c_i \cdot l_i + R_i \cdot tg\varphi_i + E_i \cdot \cos(\alpha_i - \beta_i) - E_i \cdot \cos(\alpha_i - \beta_{i-1}) \quad (5)$$

мында R_i – i – бөлүкчөсүнүн негизинин реакциясынын нормалдык түзүүчүсү. Бул теңдемелерден жылдыруу күчүнүн чоңдугун кошумча туруктуулук коэффициентине көбөйтүү аркылуу E_i көчкү басымынын чоңдугун аныктоо үчүн туюнтмасы табылат жана көчкү басымын кемитүү, $E_{i-1} = 0$ үчүн бөлүкчөлөрдүн башынан баштап удаалаш жүргүзүлөт. Кошумча туруктуулук коэффициенти эң төмөнкү бөлүкчөнүн көчкү басымы $E_n = 0$ болгондой тандап алынат.



а) Тегерек цилиндрлүү беттик жылмышуу методу



б) Жантайма жөлөнүү методу

Сүрөт 1. Көчкү беттеринин туруктуулугун эсептөө схемасы

3. Ю.И.Соловьевдун методу. Мында дагы жантайма бет же боор вертикалдуу элементтердин системасына – бөлүкчөлөр схемасына бөлүнөт. $N=P \cdot cos\alpha$ жана $T=sin\alpha$ болсун деп эсептелет. Бөлүкчөлөрдүн мүмкүн болгон жылуулары үчүн Лагранждын принцибине ылайык, жантайма беттин туруктуулук запасынын коэффициенти төмөндөгү формула менен аныкталат (мында j_i – топурактын көлөмдүү массасы):

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^{N} S_i}{\sum_{i=1}^{N} D_i} \qquad (6)$$

$$S_i = P_i tg\varphi + C \cdot b_i \cdot q_i \qquad (7)$$

$$D_i = P_i \cdot tg\alpha_i$$

$$P_i = \frac{1}{2} j_i (h_i + h_{i-1}) \cdot b_i; \quad h_i = y_i - y_i \qquad (8)$$

$$q_i = 1 + tg^2\alpha; \quad tg\alpha_i = \frac{y_i - y_{i-1}}{b_i}$$

Эсептөөлөрдүн баштапкы маалыматтарына y_i, y_{i-1}, b_i, c_i, $tg\varphi$ (i нин бардык маанилеринде) чоңдуктары кирет. Ошол себептен N_i жана T_i күчтөрүнүн ордуна P_i басым күчү эске алынат. Бөлүкчөлөр (элементтер) деформацияланбоочу деп болжолдонот.

Бул методдордун авторлору белгилеп кеткендей, сандык алгоритмдердин негизинде алынган бир катар конкреттүү беттерди эсептөө натыйжалары эксперименталдык изилдөөлөрдүн жыйынтыктары менен дурус дал келишет.

Бул келтирилген методдордун авторлору жантайган беттердин туруктуулугу көпчүлүк учурда алардын суу өткөрүү шарттары менен аныкталат деп тастыктайт. Жер алдындагы суулардын агымы күчтүк гидродинамикалык таасирлерин тийгизет жана топурактын туруктуулук көрсөткүчүнө таасир берет. Ошондуктан берилген иште гидродинамикалык ыкмага негизделген туруктуулукту эсептөөнүн методикасын сунуштайбыз. Жалпы учурда маселенин коюлушу, тоо тектериндеги алардын татаал геологиялык түзүлүшүн эске алуу менен фильтрациялык жана инфильтрациялык процесстерди изилдөөлөргө негизделген. Фильтрацияны изилдөөнүн негизинде жаңы маселе формулировкаланат: тоо беттеринин туруктуулугун, алардын жылышуу мүмкүнчүлүктөрүн аныктоо, себеби жер алдындагы суулардын агымы күчтүү гидродинамикалык таасирин тийгизет жана топурактын бекемдик көрсөткүчүнө таасир берет.

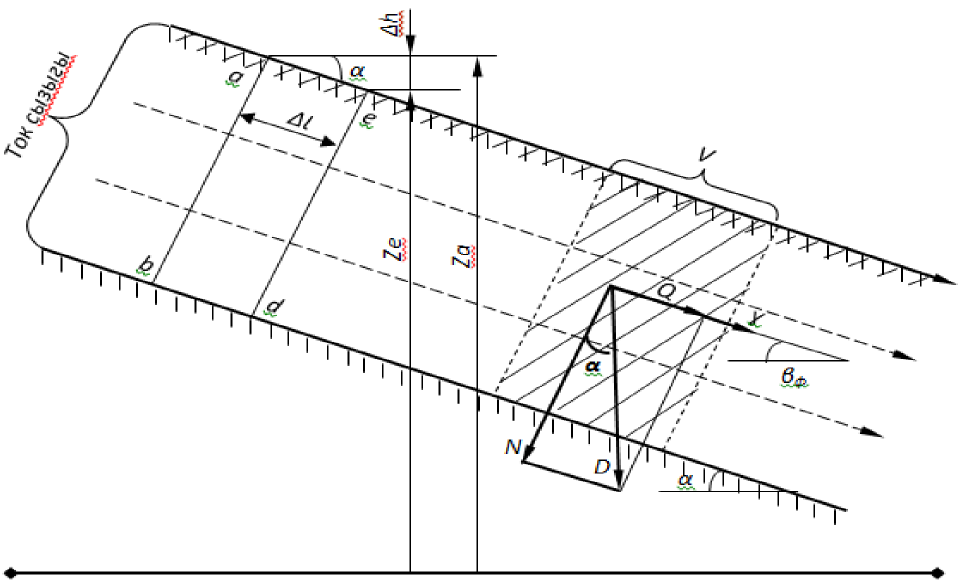
Фильтрациялык басымдын кыймылы, параллель беттеги суулардын жайланышы жантайма беттеги тектер үчүн каралган (сүрөт 2). Бул учур өзүнүн жөнөкөйлүгү менен каралып жаткан маселенин маңызын так элестетүүгө мүмкүнчүлүк түзөт. Андан сырткары, ал практикалык мааниге ээ, себеби көчкү беттеринин туруктуулугу жөнүндө маселелерде көп кездешет жана көпчүлүк чыныгы реалдуу учурлар үчүн колдонууга боло турган бир учур катары кароого болот.

Тоо тектеринин майда түтүкчөлөрү толугу менен сууга каныккан жана суунун ток сызыктары жантайма боордун үстүнө параллель болсун. Анда тиешелүү ток сызыгынын Δl узундугу жана Δh градиенти төмөндөгүгө барабар:

$$\Delta l = \frac{\Delta h}{\sin\alpha} = \frac{z_a - z_e}{\sin\alpha}, \qquad (9)$$

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{(z_a - z_e)\sin\alpha}{z_a - z_e} = \sin\alpha. \qquad (10)$$

Мында, $\alpha = \beta_\phi$ деп кабыл алынгандыктан, $i = \sin\beta_\phi$ болот.



Сүрөт 2. Сууга каныккан жантайма беттин катмары

Тоо тектеринин көлөм бирдигине болгон гидродинамикалык (фильтрациялык) басым суунун салыштырмалуу салмагына көбөйтүлгөн градиентке (узундук бирдигине болгон агым күчүнүн айырмасына, б.а., суу агымынын көлөмүнө) барабар:

$$j_{бирд} = i\gamma_{\omega} = \gamma_{\omega} \sin \beta_{\varphi} \quad (11)$$

V көлөмдүү тоо тектеринин айрым бир катмарына болгон жалпы басымы төмөндөгүгө барабар:

$$j = Vj_{бирд} = V\gamma_{\omega} \sin \beta_{\varphi} = V\gamma_{\omega} \sin \alpha \quad (12)$$

Бул басым ток сызыгын бойлой багытталган, жантайма боор бетине перпендикуляр жана ордунан жылдыруучу күч болуп эсептелет.

Мейли, жылмышуу бети суу басымынын үстүнкү катмары болсун. Салмактоону эске алуу менен, *V* көлөмдүү тоо тегинин өзүнүн сууга каныккан учурундагы салмагы $P_C = (\gamma - \gamma_{\omega})V$ барабар болот. Бул салмактын жылдыруучу курамы Q дагы жантайма боорго узата багытталган жана $Q = P_C \sin \alpha$ барабар, ал эми жылмышуу бетине карата нормалдык курамы $N = P_C \cos\alpha$ барабар. Демек,

$$Q = (\gamma - \gamma_{\omega})V \sin \alpha; \; N = (\gamma - \gamma_{\omega})V \cos\alpha \, . \quad (13)$$

Жалпы жылдыруу күчтөрү тоо тектеринин каныккандагы салмагы менен гидродинамикалык басымдын суммасынан $Q + j$, ал эми кармоочу сүрүлүү күчү $T = Ntg\varphi$ (эгерде тоо тектеринде илинишүү күчү жок болсо, антпесе *cL* күчүн кошуу керек) барабар болот. *V* көлөмдүү катмар үчүн туруктуулук коэффициенти төмөндөгүгө барабар:

$$K_{тур} = \frac{Q + j}{Ntg\phi} = \frac{(\gamma - \gamma_{\omega})V \sin \alpha + V\gamma_{\omega} \cdot \sin \alpha}{(\gamma - \gamma_{\omega})V \cos\alpha \cdot tg\phi} =$$
$$= \frac{\gamma \sin \alpha}{(\gamma - \gamma_{\omega})V \cos\alpha \cdot tg\phi} = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_{\omega}} \cdot \frac{tg\alpha}{tg\phi} \quad (14)$$

Фильтрациялык жана салмактоочу басымдар жок болгон учурда бул коэффициент

төмөндөгүгө барабар болмок:

$$K_{тур} = \frac{Q}{Ntg\varphi} = \frac{\gamma V \sin\alpha}{\gamma \cos\alpha \cdot tg\varphi} = \frac{tg\alpha}{tg\varphi} \qquad (15)$$

Мындан жантайма боор суу менен каныккан учурда боордун туруктуулук коэффициенти $\frac{\gamma}{\gamma - \gamma_{\omega}}$ эсе төмөндөйт, б.а., тоо тегинин скелетинин абадагы салмагы суудагы скелетинин салмагынан канча эсе чоң болсо, ошончо эсе төмөндөйт.

Адабияттар:

1. Оползни и сели [Текст] / ЮНЕСКО. - М.: Мир, 1988. –С.351.
2. Тихвинский Н.О. Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов [Текст] /Н.О.Тихвинский. -М., 1988. –С.183.
3. Шахунянц Г.М. Расчет устойчивости склонов и откосов против скольжения пород [Текст] Г.М. Шахунянц. - Киев: изд. КГУ, 1964. –С.19-23.