

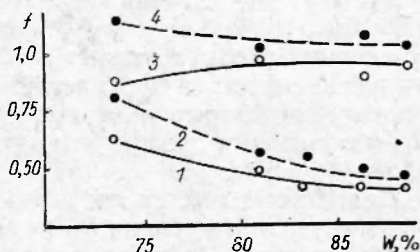
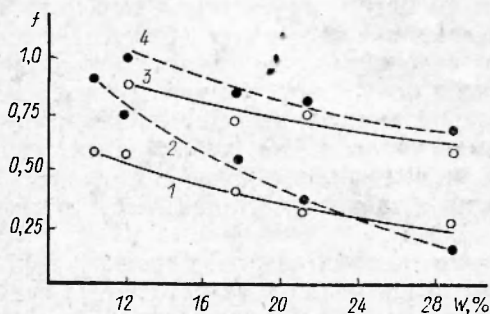
Р. Л. ТУРЭЦКІ, А. П. КАСТРУК

ВІЛЬГОТНАСЦЬ ГЛЕБЫ І КАЭФІЦЫЕНТЫ ТРЭННЯ

Трэне глебы аб матэрыял адрозніваецца ад трэння цвёрдых (жорсткіх) целаў асаблівасцямі яго ўласцівасцяў і ўмовамі ўзаемадзеяння. Глебы маюць порыстую структуру, яны неаднародныя па мінералагічным і грануламетрычным складзе, яны маюць у сабе часцінкі рознай цвёрдасці. Трываласць сувязі паміж імі, як правіла, меншая за трываласць саміх часцінак.

Асаблівасці трэння глебы аб матэрыял прыводзяць да таго, што

контурная плошча кантакту робіцца блізкай да намінальнай. Пры гэтым яна залежыць не толькі ад стану паверхні трэння, але і ад грануламетрычнага складу і яго сгану. Так, часцінкі глебы па сваіх памерах часта меншыя за мікраўпадзіны на паверхні трэння. Напрыклад, памер гліністых часцінак < 1 мкм, а вышыня выступаў грубаапрацаванай металічнай паверхні 80—320 мкм, прычым яны звычайна размяшчаюцца на хвалістай паверхні. Шаг хвалі змяняецца ў межах 1000—10 000 мкм. У гэтых выпадках глеба запаўняе ўпадзіны шурпатай паверхні. Ступень



Мал. 1. Залежнасць каэфіцыентаў трэння f_v (суцэльная лінія) і f_{yn} (штрыхавая лінія) цяжкага суглінку ад яго вільготнасці пры розных цісках: 1 і 2 — $p=30$; 3 і 4 — $p=6$ кПа

Мал. 2. Залежнасць каэфіцыентаў трэння f_v (суцэльная лінія) і f_{yn} (штрыхавая лінія) нізіннай тарфяной глебы ад яе вільготнасці пры розных цісках: 1 і 2 — $p=25$; 3 і 4 — $p=1$ кПа

запаўнення залежыць ад суадносінаў памераў мікраўпадзін на паверхні трэння і часцінак глебы, а таксама ўмоў (геаметрычных, механічных і фізіка-механічных) закліноўвання часцінак. Даследаванні паверхні металічнай пласцінкі, апрацаванай разцом да і пасля трэння ў гліністай глебе вільготнасцю 18%, паказалі, што плошча ўпадзін, запоўненых глебай, складае 68—72% плошчы трэння. Пры даследаванні ўплыву фізічных уласцівасцяў глебы на працэс і каэфіцыенты трэння ўлічвалася, што знешняя нагрузка на глебу ўспрымаецца як глебавым шкілетам, так і гідрастатычнай сумессю; суадносіны ціскаў, якія ўспрымаюцца гэтымі фазамі, залежаць ад тыпу і стану глебы, рэжымаў трэння; уласцівасці глебы ў значнай ступені змяняюцца пад уплывам вільготнасці і ціску.

Вынікі выкананых раней даследаванняў залежнасці каэфіцыента трэння глебы ад вільготнасці супярэчлівыя. Згодна з аднымі данымі, каэфіцыент трэння глебаў зніжаецца з памяншэннем вільготнасці; паводле іншых, каэфіцыент трэння з павышэннем вільготнасці спачатку ўзрастае, а затым памяншаецца.

Нашы доследы паказалі, што ва ўсіх выпадках трэння, за выключэннем вельмі малых ціскаў, з павышэннем вільготнасці каэфіцыент трэння памяншаецца як на мінеральных, так і на тарфяных глебах (мал. 1 і 2). Інтэнсіўнасць змянення каэфіцыента трэння часцінак глебы паміж сабой у залежнасці ад вільготнасці значна больш высокая, чым пры трэнні аб метал. Апрача таго, з павелічэннем вільготнасці скорасць зніжэння каэфіцыента трэння памяншаецца. У тых выпадках, калі вільготнасць глебы зніжаецца настолькі, што кантакты праз плёнкі вады знікаюць, каэфіцыент трэння мала змяняецца і практычна застаецца пастаянным.

Для цяжкага суглінку вільготнасцю да 22% каэфіцыент трэння глебы аб метал больш нізкі, чым часцінак глебы паміж сабой. Пры павелічэнні вільготнасці гэтая розніца змяншаецца і, пачынаючы з 22—24% (пры ціску $p=30$ кПа), трэнне часцінак глебы паміж сабой робіцца практычна роўным трэнню глебы аб метал. Пры гэтай вільготнасці

трэнне глебы аб метал пераходзіць у трэнне часцінак глебы паміж сабой. Далейшае павышэнне вільготнасці суправаджаецца зніжэннем каэфіцыента трэння, прычым каэфіцыент трэння часцінак глебы паміж сабой робіцца меншым, чым пры трэнні глебы аб метал.

Пры дасягненні вільготнасці, характэрнай для цякучай кансістэнцыі, каэфіцыент трэння застаецца пастаянным. Далейшае павышэнне вільготнасці ўжо не ўплывае на каэфіцыент трэння.

Пэўнае памяншэнне каэфіцыента трэння часцінак глебы паміж сабой у параўнанні з трэннем глебы аб метал тлумачыцца тым, што ў першым выпадку перамяшчэнне і адрыванне часцінак у плоскасці трэння адбываюцца з меншымі сіламі счাপлення, пры гэтым парушэнне можа быць як з боку маналіта, так і з боку ўзору, які перамяшчаецца. Пры трэнні глебы аб метал свабода перамяшчэння і адрывання часцінак памяншаецца, а пры дастатковым счাপленні іх з глебай адбываецца пластычнае дэфармаванне металу і, як вынік, павелічэнне сілы счাপлення і каэфіцыента трэння ў параўнанні з трэннем часцінак глебы паміж сабой.

Для адной і той жа глебы пры аднолькавых рэжымах трэння каэфіцыент унутранага трэння $f_{\text{ун}}$ не можа быць меншым за каэфіцыент вонкавага трэння $f_{\text{в}}$, бо калі $f_{\text{ун}} < f_{\text{в}}$, то трэнне металу аб глебу пераходзіць у трэнне часцінак глебы паміж сабой. Доследы пацвердзілі, што лікавыя велічыні каэфіцыента трэння часцінак глебы паміж сабой могуць быць большымі, роўнымі або меншымі за каэфіцыент вонкавага трэння і залежаць ад фізічных характарыстык глебы і рэжымаў трэння. Вільготнасць, пры якой вонкавае трэнне пераходзіць ва ўнутранае, залежыць ад тыпу глебы, паверхні і рэжымаў трэння. Умовы пераходу ад аднаго віду трэння да другога вызначаюцца з няроўнасцяў [3]

$$f_{\text{в}} < \left(\frac{c}{p} + \text{tg } \varphi_{\text{ун}} \right) \frac{1}{1 + \frac{a(p+p_0)}{\epsilon\beta}} - \frac{p_{\text{п}} - c}{p}$$

$$f_{\text{ун}} < \frac{h\sigma_1}{lp} \frac{1}{1 + \frac{a(p+p_0)}{\epsilon\beta}} + \frac{p_{\text{п}} - c}{p},$$

дзе c — счাপленне; p — ціск; $\varphi_{\text{ун}}$ — вугал унутранага трэння; a — каэфіцыент сціскальнасці; p_0 — ціск унутры зашчэмнага газу да прыкладання нагрузкі; ϵ — каэфіцыент порыстасці; β — каэфіцыент колькасці зашчэмнага газу ў адзінцы аб'ёму гідратацыйнай сумесі; $p_{\text{п}}$ — сілы прыліпання; h — глыбіня зоны, якая дэфармуецца; l — сярэдні дыяметр адзінкавай фрыкцыйнай сувязі; σ_1 — напружанне адціскання матэрыялу ў тангенцыяльным накірунку.

Для металаў фізічнай умовай пераходу вонкавага трэння ва ўнутранае з'яўляецца спыненне абцякання жорсткіх укаранёных няроўнасцяў матэрыялаў контрцела, якое дэфармуецца [2]. Вонкавы ціск мае месца, калі

$$\frac{h_0}{R} \leq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2\tau}{\sigma_s} \right),$$

дзе h_0 — глыбіня ўкаранення; R — радыус закруглення мікраняроўнасцяў; τ — трываласць на зрэз адгезійнай сувязі (масткаў зваркі, якія пры гэтым утвараюцца); σ_s — граніца цякучасці паўпрасторы, якая дэфармуецца.

Вонкавае трэнне цалкам спыняецца, калі $\tau/\sigma_s > 5$. Паколькі для любога матэрыялу трываласць на зрэз складае $0,5\sigma_s$, то для забеспячэння вонкавага трэння неабходнай з'яўляецца наяўнасць на паверхні

цвёрдага цела плёнку менш трывалага цела, г. зн. захаванне правіла дадатнага градынта механічных уласцівасцяў па глыбіні.

На характар трэння глебы пры іншых аднолькавых умовах вялікі ўплыў робяць сілы счэплення і прыліпання. З павышэннем вільготнасці велічыня сілаў счэплення паміж часцінкамі няспынна памяншаецца з прычыны скарачэння паверхневага нацяжэння і спынення ўплыву калоідаў, адначасова пачынаюць дзейнічаць сілы прыліпання. Велічыня іх паміж глебай і металам з ростам вільготнасці значна большая, чым паміж асобнымі часцінкамі. У сувязі з гэтым адбываюцца якасныя і колькасныя змяненні самога працэсу трэння. Замест трэння глебы аб метал пачынаецца трэнне часцінак глебы паміж сабой, г. зн. вонкавае трэнне замяняецца ўнутраным.

Разбурэнне сувязяў паміж часцінкамі ў залежнасці ад тыпу і стану глебы стварае ўмовы для поўнага або частковага іх перамяшчэння па паверхні трэння да перамяшчэння ўнутры паверхневага слоя, з прычыны чаго адбываецца замена трэння аб метал на трэнне часцінак глебы паміж сабой. Такі малюнак назіраецца пры гарызантальным рэзанні ў зоне бакавага зрэзу і пры рэзанні вертыкальным рабочым органам у зоне ўсебаковага сціскання.

Памяншэнне зносу рабочых органаў на вільготных і пераўвільготненых звязных глебах у параўнанні з глебай таго ж тыпу, але з меншай вільготнасцю пацвярджае пераход вонкавага трэння ва ўнутранае. Пры зніжэнні вільготнасці (узростанні трываласці) глебы суадносіны гэтых каэфіцыентаў узрастаюць. Для глебаў з малой вільготнасцю замена вонкавага трэння ўнутраным выклікае значнае (у 1,5—2 разы) павелічэнне каэфіцыента трэння, а пры ўзаемадзейні рабочых органаў з глебай — рост супраціўлення рэзанню. З гэтай прычыны пры трэнні аб глебу з малой вільготнасцю больш важна, чым пры трэнні аб вільготную глебу, забяспечыць высокую якасць апрацоўкі паверхні трэння рабочых органаў машын. Ад суадносінаў плошчы, якая прыпадае на трэнне глебы аб метал, і ўсёй плошчы трэння (λ) залежыць каэфіцыент трэння, паколькі $f = \lambda f_{\text{в}} + (1 - \lambda) f_{\text{уп}}$, дзе велічыня λ вызначаецца станам паверхні трэння, глебавымі ўмовамі і рэжымамі трэння. Чым большая шурпатасць, тым меншая λ і больш высокія велічыні каэфіцыента трэння, паколькі змяншаецца фактычная плошча трэння глебы аб матэрыял, а каэфіцыент вонкавага трэння часта меншы за каэфіцыент унутранага. Гэтым можна вытлумачыць, чаму каэфіцыент трэння гліністых і суглінкавых глебаў у меншай ступені залежыць ад стану паверхні, што зазнае трэнне, і ў большай — ад стану глебы, асабліва ад яе вільготнасці.

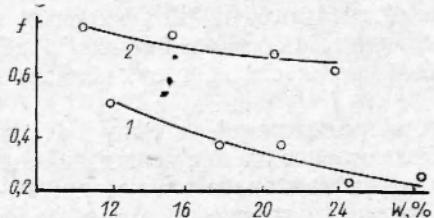
На вільготных звязных глебах розніца ў велічынях каэфіцыентаў вонкавага і ўнутранага трэння змяншаецца і адзін від трэння часта пераходзіць у другі. Гэта дае падставу прымаць каэфіцыент трэння глебы аб рабочую паверхню роўным каэфіцыенту трэння часцінак глебы паміж сабой.

Вільготнасць мала ўплывае на каэфіцыент трэння пясчанай глебы (мал. 3), нягледзячы на тое, што пры павелічэнні яе да пэўнай мяжы трываласць глебы некалькі павышаецца. Такі характар змянення каэфіцыента трэння пясчанай глебы ў адрозненне ад каэфіцыента трэння звязных глебаў выкліканы тым, што для пясчанай глебы фільтрацыйнае супраціўленне малое, каэфіцыент поравага ціску $D = U_0/p \rightarrow 0$ (дзе p — вонкавы ціск; U_0 — супраціўленне, якое ўспрымаецца гідрастатычнай сумессю), г. зн. уся нагрузка, што перадаецца, адразу ўспрымаецца глебавым шкілетам. Апрача таго, пры трэнні пясчанай глебы плёнку абсарбаванай вады, якія акружаюць часцінкі, пад дзеяннем вонкавай нагрузки выцягваюцца незалежна ад вільготнасці, утвараючы мінеральны тып кантакту (мінерал—метал або мінерал—мінерал).

Для тарфяной глебы залежнасць каэфіцыента трэння ад вільготнасці аналагічная, як і для звязных мінеральных глебаў. Пры вільготнасці

больш за 85% каэфіцыенты ўнутранага і вонкавага трэння практычна можна лічыць роўнымі. У зоне малых ціскаў (да 3—5 кПа) каэфіцыент вонкавага трэння для глебаў з паніжанай вільготнасцю меншы, чым для больш вільготных, г. зн. маюць месца адваротныя з'явы ў параўнанні з заканамернасцю змянення каэфіцыента трэння пры больш высокіх цісках. Гэта тлумачыцца значным уплывам сілаў прыліпання.

Памяншэнне каэфіцыента трэння тарфяной глебы з павышэннем вільготнасці выклікана тым, што малекулы вады пры ўзаемадзеянні з



Мал. 3. Залежнасць каэфіцыента трэння гліністай (1) і пясчанай (2) глебаў ад вільготнасці ($p=20$ кПа, скорасць слізгацення $v=0,05$ м/с)

актыўнымі групамі торфу пранікаюць у міжагрэгатныя і ўнутрыклеткавыя поласці і выклікаюць разрыванне вадародных сувязяў і памяншэнне сілаў малекулярнага счэплення. Гэта садзейнічае больш свабоднаму слізгаценню і перапакаванню макрамалекулаў пры дэфармацыях.

На працэс і каэфіцыент трэння вялікі ўплыў робяць суадносіны катэгорыяў вады (фізічна звязаная і свабодная), якія могуць быць аддзіснуты ў плоскасці трэння глебы. Яны змяняюцца ў залежнасці ад вільготнасці і тыпу глебы, а для торфу — яшчэ і ад ступені раскладання і батанічнага складу. Пры вільготнасці торфу каля 50% амаль уся вада знаходзіцца ў звязаным стане. Пры далейшым павышэнні вільготнасці колькасць яе памяншаецца і ўзрастае колькасць свабоднай вады.

Аддзіканне розных катэгорый вады залежыць ад ціскаў. Пры іх велічынях, якія адпавядаюць ўзаемадзеянню рабочых органаў і хадавых сістэм, можна выдзеліць толькі гравітацыйную і часткова капілярную ваду. Аддзіканне вады гэтых катэгорый патрабуе адпаведнага ціску 0—0,1 і 0,1—1,5 для адсарбаванай, асматычнай вады, 1,5—150 МПа — для іншых яе відаў [1]. Неаднолькавыя магчымасці ў залежнасці ад вільготнасці і ціску выдзялення лёгкааддзіскаемых катэгорый вады з глебы абумоўліваюць розны яе ўплыў на каэфіцыент трэння. Пры змяненні нагрузкі на глебу адбываецца пераразмеркаванне малекулаў вады і змяненне таўшчыні водных плёнак.

Пры аддаленні малекулярных абалонак вады ад паверхні часцінкі набываюць спачатку ўласцівасці цвёрдага і вязкага цела, а затым свабоднай вады. Згодна з данымі Б. В. Дзярагіна, пры таўшчыні пласта вады 0,09 мкм модуль зруху роўны 20 кПа, а пры 0,15 мкм — нулю. З прычыны гэтага ў залежнасці ад таўшчыні плёнкі вады садзейнічае больш лёгкаму перамяшчэнню часцінак глебы, або, наадварот, яго тармажэнню.

Пры малой вільготнасці глебы канцэнтрацыя малекулаў на адсарбаваным пласце нязначная, адбываецца быццам бы «сухое» трэнне, вада не выціскаецца і яе ўплыў на працэс трэння малы або зусім адсутнічае. Таму калі вільготнасць зніжаецца настолькі, што кантакты праз плёнкі практычна знікаюць, каэфіцыент трэння пры далейшым зніжэнні вільготнасці застаецца пастаянным.

У тых выпадках, калі вада выціскаецца ў плоскасці трэння, уплыў яе на каэфіцыент трэння ў залежнасці ад яе колькасці мае розную фізічную прыроду. Так, пры малой колькасці вады ўтвараецца малекулярная плёнка, якая засцерагае глебу ад непасрэднага кантакту з металам; калі ж на паверхню трэння выціскаецца значная колькасць вады, то паверхневы пласт увільгатняецца, што выклікае зніжэнне су-

праціўлення зрэзу (памяншаюцца сілы счাপлення і каэфіцыент унутранага трэння). Вільготнасць глебы адыгрывае тую ж ролю, што і тэмпература для металу: за кошт цеплыні трэння адбываецца размякчэнне тонкага паверхневага пласта металу.

Такім чынам, заканамернасці змянення каэфіцыента трэння ў залежнасці ад вільготнасці абумоўліваюцца таўшчынёй водных плёнак, змяненнем каэфіцыента порывага ціску, а таксама суадносінамі розных катэгорый вады, якія могуць быць выдзелены пры дзеянні вонкавых нагузак. Для кожнай глебы існуюць межы вільготнасці, за якімі зніжэнне або павышэнне апошняй мала або зусім не ўплывае на каэфіцыент трэння.

Уплыў вільготнасці на каэфіцыент трэння ўзгадняецца з ураўненнямі [3]

$$f_{\text{ун}} = f_r \frac{1}{1 + \frac{a(p + p_0)}{\epsilon \beta}} \quad \text{и} \quad f_{\text{в}} = f_r' \frac{1}{1 + \frac{a(p + p_0)}{\epsilon \beta}},$$

дзе $f_{\text{ч}}$ — каэфіцыент трэння часцінак паміж сабой (трэнне ў пунктах непасрэднага кантакту); f_r' — каэфіцыент трэння часцінак глебы аб матэрыял (метал).

У адпаведнасці з гэтымі ўраўненнямі вынікае, што з павелічэннем каэфіцыента сціскальнасці a (ростам вільготнасці) і ціску $p + p_0$, з паніжэннем каэфіцыентаў порывастасці ϵ і колькасці газу ў порах β каэфіцыент трэння памяншаецца.

Зніжэнне каэфіцыента трэння з павышэннем вільготнасці тлумачыцца таксама і тым, што з памяншэннем у глебе газападобнай фазы поравы ціск узрастае, у выніку чаго змяншаецца частка ціску, якая ўспрымаецца глебавым шкілетам.

Summary

The low-governed nature of friction coefficients use, depending on moisture, the analytical dependencies of external into internal friction transition and vice versa are examined.

Літаратура

1. Винокуров Ф. П. и др. Стронтельные свойства торфяных грунтов. Мн., 1962.
2. Крагельский И. В., Виноградова И. Э. Коэффициенты трения. Изд. 2. М., 1962.
3. Турецкий Р. Л. Резанне мелиорируемых грунтов и интенсификация рабочих процессов машин для осушения и освоения земель Нечерноземной зоны. Дис. ... д-ра техн. наук. Мн., 1981.

ЦНДІМЭСГ

Паступіў у рэдакцыю
30.03.92