

СҰЙЫҚ ТЫҢАЙТҚЫШТЫ ТОПЫРАҚ ІШІНЕ ЕНГІЗЕТІН ПЫШАҚТЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПІШІНДЕРІН НЕГІЗДЕУ

Таңбаев Қожакелді Қуандықұлы

Ауылшаруашылығы ғылымдарының магистрі

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті

Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

E-mail: khozhakeldi.tanbayev@kazatu.kz

Нөкешев Саяхат Оразұлы

Техника ғылымдарының докторы, профессор

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті

Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

E-mail: s.nukeshev@kazatu.kz

Түйін

Мақалада сұйық минерал тыңайтқыштарды (СМТ) топыраққа астарлай енгізуге арналған топырақ өңдеу пышағының ішкі қуысының пішініне геометриялық ізденіс нәтижелері ұсынылған. Баяндалған нәтижелер мен ұсыныстар сұйықтықтың бірқалыпты ағынын қалыптастыруға ықпал ететін факторлар деңгейін анықтауда, аталған топырақ өңдеу пышағын өндіру үшін материал, технологиялық әдістерді таңдауда маңызды. Зерттеу нәтижелері үлдір (пленка) мен бояу жабындарын экструзиялау, ауа перделерін қалыптастыру, сондай-ақ сызатты ағын бөлгіштерді жасау сияқты өндірістің өзге, жасау дәлдігі жоғары салаларына да маңызды болуы мүмкін.

Ізденістің басты мақсаты пышақтың бүкіл ені бойлап ізінде топыраққа сіңетін барынша кең және бірқалыпты сұйық үлдірін қалыптастыратын қуыстың геометриялық пішінін, параметрлерін іздеу. Ізденіс кезінде сұйық ағынын модельдеуге арналған заманауи есептік гидродинамикасының (CFD) бір құралы Solidworks Flow Simulation® бағдарламасы қолданылды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы сұйық минералды тыңайтқыштарды топыраққа енгізуге арналған пышақ қуысының пішіні және құрылымдық параметрлерінің негізделген шектері.

Ізденіс нәтижелеріне сай, зерттелген ені $w = 102$ мм болатын моделдер қатарында беру арнасы осінің пышақ жүзі жазықтығына қатысты орналасуы түрлендірілген үлгі (Y05, $\gamma = 0,81$ болғанда), беру арнасы конус (тарылған) пішінді үлгі (Y06, $K = 0,02$), беру арнасы тік қиюшы жазықтықтар комбинациясымен қию арқылы арна соңына қарай тарылған үлгі (Y07) тиімді болатыны анықталды және оларда пышақ саңылауынан шыққан сұйықтықтың бірқалыпты таралу көрсеткіштері жоғары болды.

Сұйықтықтың біркелкі ағып шығуын қамтамасыз ететін пышақ саңылауы биіктігі параметрінің шектері (су үшін) анықталды, $h = 0,9-0,12$ мм.

Кілт сөздер: есептік гидродинамика; сұйық ағынын модельдеу; сұйық минерал тыңайтқыштар; сұйық үлдір; топырақты терең өңдеу; топырақ өңдейтін пышақ; чизель соқасы.

Кіріспе

Сұйық тыңайтқыштарды топыраққа астарлай енгізудің тиімділігі жоғары [1], өйткені ол ауа айналымын, сіңіру қасиетін, топырақ дренажы жылдамдығын, топырақтың ылғалдылығын және қарашірік қабатын жақсартады [2]. Сұйық минерал тыңайтқыштардың маңызды артықшылығы – оларды сақтау, тасымалдау және қолдану құнының төмендігі [3], қолдану дәлдігінің жоғарылығы болып табылады. Әрине, қоректік минерал тыңайтқыштарды пайдалану тиімділігіне дәл жұмыс істейтін техникалық құралдарды дамыту арқылы қол жеткізуге болады [4].

Шолу барысында тиісті зерттеулер [5–9] және қазіргі уақытта жұмыс істеп тұрған топырақ өңдеу құралдарының құрылымдық ерекшеліктері талданды. СМТ-ны енгізу үдерісінде қолданылатын механизмдерді, жұмыс органдарын және компоненттерді жасаумен айналысатын танымал өндірушілердің инновациялық жаңалықтары зерттелді. Мысалы, көптеген өндірушілер дискілік жұмыс органы бар құралдарды ұсынады, олардың СМТ енгізу түтігі дискінің артына орнатылған және жүйекті сызық түрінде ылғалдандырады. Furrowjet

сұйықтықты бақылау және беру жүйесі [10] тыңайтқыш жолақтарын тұқым төселген жолаққа және олардың жанына (3 жолақ) орналастыра алады. Triplex бүрку жүйесі қоректік заттарды енгізуге арналған ең жіңішке сошник конструкциясына ие болып, топырақтың аз бұзылуын қамтамасыз етеді [11]. Өкінішке орай, кейбір қол жетімді құралдардың бірқатар кемшіліктері бар, олардың бірі жеке компоненттердің тез тозуы.

Сұйық минерал тыңайтқышты топыраққа жайып, кең жолақты етіп енгізудің тиімді нәтиже беретіні белгілі [9]. Бірақ осылай СМТ енгізетін техникалық шешімдер жетілдірілмеген. Осыған байланысты сұйықтық бір жағынан (ассимметриялы) берілетін ішкі, тікбұрышты микроарнасы бар топырақ өңдеу пышағының дизайны ұсынылды [12].

Жұмыстың мақсаты СМТ-ды топырақ астына тиімді енгізуге арналған құрылғының жұмыс органы – топырақ өңдеу пышағы микроарнасының (қуысының) геометриялық пішіндерін сұйық ағынына, бірқалыптылығына әсер етуші факторларды анықтай отырып негіздеу.

Материалдар мен әдістер

Бұл зерттеу жұмысында ұсынылған топырақ өңдеу пышағының [12] геометриялық ерекшеліктеріне сай келесі үлгілер талданды:

- цилиндр пішінді беру арнасы және оның көлденең симметриялық жазықтықта орналасқан тіктөртбұрышты жазық шығу арнасы (микроарна) бар пышақ (шартты белгісі Y01). Негізгі параметрлері: d – цилиндр пішінді беру арнасының диаметрі, w , L , h – шығу арнасының сәйкесінше ені, ұзындығы және биіктігі. w және h – тұрақты. Қалған үлгілерде де осы параметрлер қолданыста болады. Қолданылған есептік гидродинамика бағдарламасында көлденең симметрия жазықтығы – XZ жазықтығына, беру арнасының осі Z осіне, ал сұйықтың шығуы X осіне сай келеді;

- шығу арнасының XZ жазықтығына қатысты орналасуы түрлендірілген үлгі (Y02). Жаңа параметр s – шығу арнасының XZ жазықтығына қатысты орналасу биіктігі (төмендігі);

- шығу арнасының айналу осі X болғандағы көлденең жазықтыққа қатысты орналасуы түрлендірілген үлгі (Y03), ψ – орналасу бұрышы;

- шығу арнасының айналу осі Z болғандағы көлденең жазықтыққа қатысты орналасуы түрлендірілген үлгі (Y04), φ – орналасу бұрышы;

- беру арнасы осінің пышақ жүзі жазықтығына қатысты орналасуы түрлендірілген үлгі (Y05), γ – орналасу (қиғаштық) бұрышы;

- беру арнасы конус пішінді үлгі (Y06), K – конустық көрсеткіші;

- беру арнасы тік жазықтықпен қию арқылы арна соңына қарай тарылған үлгі (Y07);

- шығу арнасы сына пішінді болған үлгі (Y08);

- беру арнасы қысқартылған үлгі (Y09), C – арна тереңдігі,

- шығу арнасының пішіні түрлендірілген үлгі (Y10), r – доға радиусы.

Пышақтың шартты 3D моделі мен параметрлер жиынтығы.

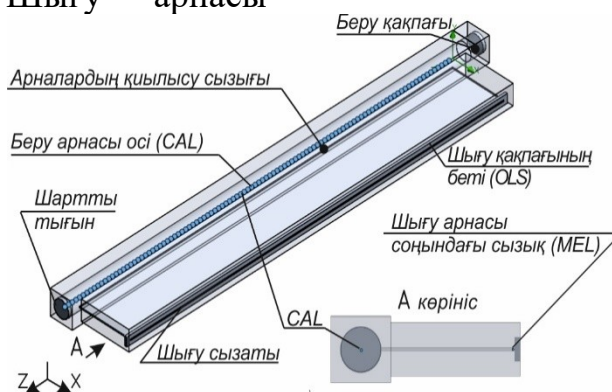
Сандық модельдеу және есептеулер Solidworks Flow Simulation® бағдарламасын қолдану арқылы жүргізілді. Ағынды орта ретінде су пайдаланылды. Температура – 20°C, қысым – 101325 Па, тығыздық (ρ) – 997,56 кг/м³. Бұл жағдайлар сандық модельдеуді тексеру үшін жүргізілген зертханалық эксперименттер кезінде ескерілді. Модельдеу және есептеуде ішкі ағынды талдау түрі қолданылды. Еркін түсу үдеуі ескерілді.

Пышақтың шартты 3D модельдерінің өлшемдері келесідей: $h = 0,1$ мм ($A_i > A_o$), $L = 20$ мм, $w = 102$ мм, $d = 4$ мм, мұнда A_i , A_o сәйкесінше беру (inlet) және шығу (outlet) тесіктерінің ауданы. Басым тексерулер $h = 0,1$ мм өлшемді модельдер қатарымен жүргізілді, тек тиімділері $h = 0,1239$ мм және $h = 0,15$ мм өлшемді модельдерде қайта тексерілді. Бастапқы геометрияны 1-суреттен көруге болады. 3D моделдегі шығу арнасы бар бөліктің сыртқы ұзындығы (көлденең орналасуы)

105 мм, биіктігі – 4,8 мм, беру арнасы жасалған бөліктің сыртқы ұзындығы – 110 мм. Беру арнасының екінші ұшы шартты тығынмен бітелген.

Деректерді алу үшін параметрлер жиынтығының екі түрі қолданылды: нүктелік және беттік. Мұнда, есептеу нәтижесінде жылдамдық (X , Z осьтері бойындағы жылдамдықты қоса алғанда, м/с), динамикалық және толық қысым (Па), ағын көлемі (m^3/c) және басқа параметрлерді алуға болады. Шығу арнасы

соңында *Microchannel End Line* (MEL), ал беру арнасында *Cylinder Axial Line* (CAL) деп аталатын нүктелік параметрлер сызықтары қолданылды. Шығу қақпағының бетінде *Outlet Lid Surface* (OLS) деп аталатын параметрлер жазықтығы қолданылды. Әр сызықтағы параметрлік нүктелердің интервалы 1 мм, сонда шығу арнасындағы параметр сызығында $n = 102$, ал беру арнасында $n = 106$ параметрлік нүкте бар.



1-сурет. Топырақ өңдеу пышағының шартты 3D моделі (бастапқы геометрия) және параметрлер жиынтығы

Келесі шектеу шарттары белгіленді: беру (шартты) қақпағында – беру жылдамдығы $V_i = 3$ м/с, шығу қақпағында – қысым (101325 Па), ал сұйықтық жанасатын барлық басқа беттер – кедір-бұдырлығы өте төмен нақты қабырға (Real Wall) етіп белгілеп алынды.

Әрбір зерттелген модельдің геометриясы Solidworks Flow Simulation® бағдарламасы көмегімен түрлендірілді және әрбір үлгіден аққан сұйық ағынының сандық моделі жасалды, ағын үдерісінің визуалды көрінісі

алынды. Шығу жылдамдығы графиктері және бірқалыптылық (U) көрсеткіштері бастапқы үлгімен және өзара салыстырылды.

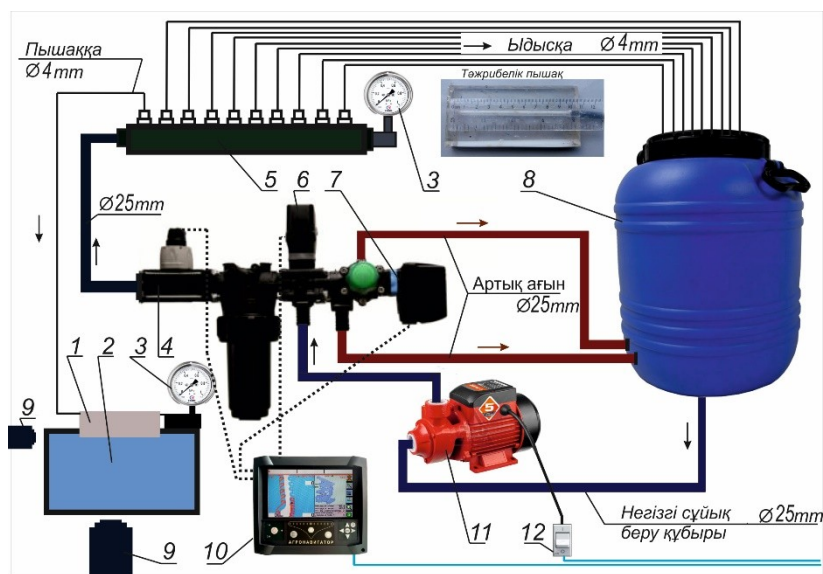
Эксперименттік қондырғы және бірқалыптылықты тексеру әдісі

Сандық модельдеу нәтижелерін тексеру мақсатында эксперименттер жүргізілді. 2-суретте 10 шығу түтікшелері бар эксперименттік қондырғының схемасы және тәжірибелік пышақтың суреті көрсетілген.

Қажет эксперименттік пышақ үлгі органикалық шыны немесе металдан жасалды. Сұйық минерал тыңайтқышты топырақ астына енгізуге арналған ұштықтан (пышақтан), атап айтқанда биіктігі мен ұзындығының қатынасы аса жоғары болған сызат түрінде тесігі бар ұштықтардан (ұштық-пышақ) ағып шыққан сұйықтың біркелкілігін анықтау бойынша стандарт немесе методикалық ұсыныстар әзірге жоқ. Сондықтан пышақтан ағып шыққан сұйық массасының сызат саңылау бойындағы бірқалыптылығын анықтау мақсатында шыны түтікшелерден жасалған

көпұяшықты өлшеуіш ыдыс қолдану ұсынылды (4г-сурет).

Сұйық алу үшін өлшеуіш ыдысты пышақтың сызатты жүзіне толық жанастыру қажет. Сынама сұйықтық алу уақыты 1–10 секунд. Үрдіс аяқталғаннан кейін өлшеуіш ұяшықтарындағы сұйық мөлшері бойынша вариация коэффициенті анықталып, компьютерлік модельдеу нәтижелері бойынша анықталған бірқалыптылық (U) көрсеткішімен салыстырылады. Салыстыру үшін тек температурасы 20–28°C аралығында жүргізілген эксперимент нәтижелері қолданылды.



2-сурет. Эксперименттік қондырғының схемасы: 1. Тәжірибелік пышақ. 2. Ағынды су ыдысы (30 литр). 3. Манометр (0,6 МПа). 4. Ағын өлшегіш. 5. Таратқыш. 6. Пропорционалдық басқару клапаны. 7. Негізгі басқару клапаны. 8. Ыдыс (50 литр). 9. Бейнекамералар. 10. Борттық компьютер. 11. Сорғы (400 кВт, 35 л/мин). 12. Қосқыш

Тәжірибелер барысында сұйық үлдір енінің (w_1) сызат саңылау еніне (w) қатысты толықтығы ($w_1 = w$), үлдірдің пішіні, симметрия немесе X -осіне қатысты перпендикулярлығы, құлау бұрышы, үлдір жиегінің бұрышы, сияқты сипаттамалар қадағаланды.

Ізденістің теориялық негізі

Solidworks Flow Simulation® бағдарламасынан алынған нәтижелерді талдау кезінде белгілі теңдеулерге жүгіндік.

Ағып шыққан сұйықтың шығыны шығу жылдамдығына V_o (м/с) байланысты. Беру жылдамдығы тұрақты болғандықтан массаның сақталу заңын қолданатын болсақ $\rho V_i A_i = \rho V_o A_o$ теңдігі дұрыс және күтілетін шығу жылдамдығы төмендегі формуламен есептеледі:

$$V_{oavg} = V_i \frac{A_i}{A_o} \quad (1)$$

Ағынның ламинар немесе турбуленттік екенін анықтау мақсатында төмендегі формула қолданылды:

$$Re = \frac{\rho D_h V}{\mu} \quad (2)$$

мұнда, μ – динамикалық тұтқырлық (Pa·s), V – жылдамдық (м/с). Цилиндр пішінді беру арнасы үшін $D_h = d$, ал тіктөртбұрышты шығу арнасы үшін, h және w арасындағы қатынас өте үлкен болғандықтан $D_h = 2h$ деп алынды. Өлшемдердің тек біреуі ғана микро (мини) өлшемге [13] ие болғандықтан қарапайым ағын теориялары қолданыла береді. Әдетте тіктөртбұрышты микроарнадағы (екі параллель көлденең беттер арасындағы) сұйықтың бір бағытты ағыны ламинарлы болады, ал қалыпты жағдайда микроарнадағы сұйықтық ағынының жылдамдығы төмендегіше:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{hw} = \frac{\Delta p h^2}{12 \mu L} \quad (3)$$

мұндағы Δp – бұл микроарнадағы ағынды қоздыратын қысымның айырмасы,

h , w және L – микроарнаның биіктігі, ені және ұзындығы;

Δp – микроарнаның басы мен соңы арасындағы қысымының айырмасы. Біздің жағдайда Δp V_i және h -ге байланысты болатыны анық.

Solidworks Flow Simulation® бағдарламасындағы бірқалыптылық көрсеткіші бізге ағын туралы қажетті сипаттаманы бере алмады. Сондықтан бірқалыптылықты барынша нақтырақ көру үшін модельдеу, есептеу нәтижесінде алынған шығу жылдамдығының көрсеткіштері шартты түрде үш бөлікке бөлінді, бас бөлік $n_1 = 34$ нүкте, орта бөлігінде $n_2 = 34$ нүкте және соңғы бөлікте $n_3 = 34$ нүкте. Сонымен қатар, әр бөлік үшін шығу жылдамдығының V_{max} , V_{min} және $V_{орт}$ мәндері анықталды. Нәтижесінде сұйық үлдірдің бірқалыптылығын U (%) анықтау үшін келесі теңдеу ұсынылды:

$$U = \left(50 \left(\frac{V_{min1}}{V_{max3}} + \frac{V_{min3}}{V_{max1}} \right) \cdot \frac{V_{min2}}{V_{max2}} \right) \cdot \frac{V_{m1} V_{m3}}{V_{m2} V_i} \cdot \frac{A_o}{A_i} \quad (4)$$

V_i әсері шығу кезінде күтілетін жылдамдықтың байланысын және қуатын көрсетеді. Беру (A_i) және шығу (A_o) тесіктері аудандары арасындағы

қатынас биіктігі (h) әртүрлі шығу арналарын қатар салыстыруға мүмкіндік береді.

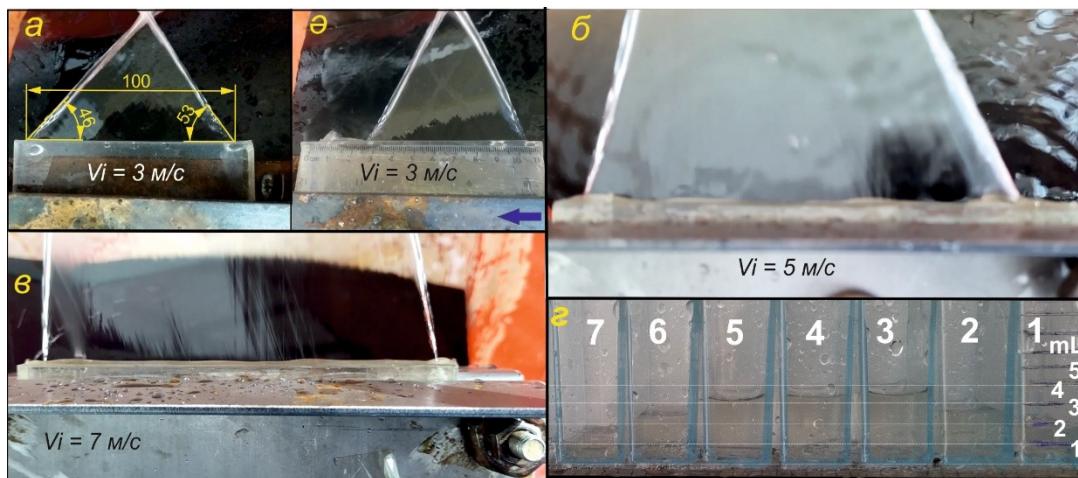
Нәтижелер

Алынған сұйық үлдірдің бірқалыптылығын үлдір пішінін визуал салыстыру және бағалауда ескеру қажет келесі критерийлер ұсынылды:

1. Орташа шығу жылдамдығы (ағынның соққылық күші үшін).
2. Шығу жылдамдығы бойынша көрсеткіштердің (V_0 немесе V_{ox}) жалпы бірқалыптылығы).
3. Үлдірдің толықтығы ($w = w_1$).
4. Үлдірдің перпендикулярлығы немесе симметриялығы (үлдір пішіні, өлшемдері).

3-суреттен көрініп тұрғандай үлдірді және сызаттан шығу жылдамдығын бағалауда үлдірдің қос жиегінің күйі мен өлшемдері де маңызды. Мұнда жиектің бағыты (кейде айқас), олардың симметриялығы, бүйірлік бұрыштарының теңдігі, жиек

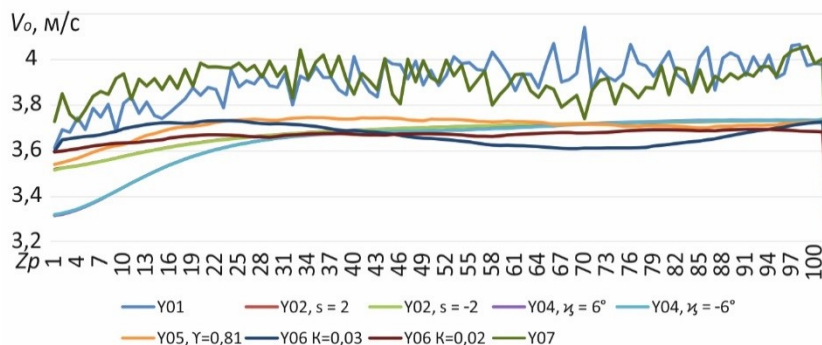
сызығының пішіні, жуандығы және құлау бұрышы V_0 -ның бірқалыптылығын сипаттауда көмектесе алады. 3а, 3ә-суреттерде Y01 және Y09 үлгілер бойынша жасалған эксперименттік пышақтардан алынған үлдірлер салыстырылған. Беру жылдамдығы және негізгі геометриялық өлшемдер екеуінде де бірдей. Бір ерекшелігі Y09 үлгі бойынша жасалған пышақтың беру арнасы 10 мм-ге қысқартылған. 3б-суретте Y01 үлгіден беру жылдамдығы 5 м/с болғандағы алынған сұйық үлдір, ал 3г-суретте осы үлдірден өлшенген сұйық мөлшері көрсетілген. 1-ден 7-ші дейінгі ұяшықтардағы жиналған сұйық мөлшері сәйкесінше келесідей болды (мл): 2,2; 2,7; 3,5; 3,4; 3,1; 2,5; 1,7. $C_v = 76\%$. 3в-суретте Y01 үлгіден $V_i = 7$ м/с болғанда алынған сұйық үлдір көрсетілген.



3-сурет. Эксперимент нәтижелері. Y01 (а), Y09 (я) үлгілерден алынған сұйық үлдір. Y01 үлгіден $V_i = 5$ м/с болғанда алынған сұйық үлдір (б). Y01 үлгіден $V_i = 7$ м/с болғанда алынған сұйық үлдір (в). 7 ұяшықты өлшеуіш ыдыс және Y01 үлгі, $V_i = 5$ м/с болғанда өлшенген сұйық мөлшері (г)

Есептеулер нәтижесі бойынша шығу арнасында тексерілген 3–8 м/с беру жылдамдығы кезінде ағын ламинар болды, $Re = 150–350$. Алынған сұйық үлдірлер мұның дәлелі. Эксперимент арқылы саңылаудан толық сұйық үлдір қалыптастыратын h биіктік анықталды, ол су үшін $h = 0,1 (\pm 0,01)$ мм.

Компьютерлік есептеулер нәтижесінде әрбір үлгі үшін сызат саңылаудан шыққан сұйықтықтың әрбір параметрлік нүктедегі (MEL) алынған шығу жылдамдықтары V_o , беру арнасы осінен (CAL) қысым көрсеткіштері (максимал, минимал және қысым айырмасы), ал параметрлік жазықтықтан (OLS) ағып шыққан сұйықтың орташа жылдамдығы, қысымы, массалық және көлемдік шығын көрсеткіштері алынды.



4-сурет. Компьютерлік моделдеу көмегімен түрлі үлгілерден алынған V_o жылдамдықтың графиктері

Мұнда Z_p MEL сызығындағы параметрлік нүктелер (Z осіндегі координатымен).

Сандық модельдеуден алынған V_o мәндері бойынша 4-формуланың көмегімен бірқалыптылық көрсеткіштері

Компьютерлік есептеулер мен эксперименттік нәтижелер арасындағы ауытқу 3–15% шамасында. Ауытқуға пышақты жасау дәлдігі мен аз мөлшерде температура айырмашылығы әсер ету мүмкін (2–3%-дан артық емес).

4-суреттен $K = 0,02$ болғандағы Y06 үлгіде ең жоғары бірқалыптылық болғанымен, жалпы V_o көрсеткіштері төмен. Y01 және Y07 үлгілерде жалпы шығу жылдамдығының мәндері басқаларға қарағанда жоғары және Y01-ге қарағанда Y07 үлгісінің бірқалыптылығы жоғары. Графиктен көрініп тұрғандай Y02 және Y04 үлгілерінің екі нұсқасы да бірдей графикке ие. Y03 үлгісі мәндерінің Y02 мәндерінен айтарлықтай айырмашылығы болған жоқ.

анықталды. 1-кестеде шығу жылдамдығының сәйкесінше орташа, максимал және минимал мәндері (V_{oav} , V_{omax} , V_{omin}), сонымен қатар орташа шығу және беру жылдамдықтарының қатынасы, бірқалыптылық (U), вариация

коэффициенті (C_v) көрсеткіштері негізінде салыстыру нәтижелері ұсынылған.

1-кесте. Үлгілерді V_o жылдамдық көрсеткіштері бойынша талдау ($h = 0,1$ мм болған үлгілер арасында)

Үлгілер	Y01	Y02, s =1,9	Y02, s = – 1,9	Y04, $\alpha =$ 6°	Y04, $\alpha =$ 6°	Y05, $\gamma = 0,8$ 1	Y06, K = 0,03	Y06, K = 0,02	Y07
V_{oav} (м/с)	3,90	3,68	3,68	3,65	3,65	3,71	3,67	3,66	3,90
V_{omax} (м/с)	4,14	3,74	3,74	3,74	3,73	3,75	3,73	3,70	4,06
V_{omin} (м/с)	3,13	3,17	3,19	3,32	3,32	3,54	3,18	3,15	3,15
U (%)	81,16	87,8	87,8	90,01	90,01	94,31	88,58	90,01	85
V_{oav} / V_i	1,30	1,23	1,23	1,22	1,22	1,24	1,22	1,22	1,30
C_v (%)	76					89			82

Мұнда K – конустық. Тексерілген үлгілер факторлық ерекшеліктеріне сай түрлерге ажыратуға болады. Біріншісі кедергі әсері қолданылған үлгілер (Y01, Y02, Y03, Y04), ал екіншісі

Талқылау

1-кестедегі шығу жылдамдығы максимал және минимал мәндерінің айырмасына сай есептейтін болсақ Y05 үлгіде ($U = 94,31\%$) сағатына 8 кг, ал Y01 үлгіде ($U = 81,16\%$) 36 кг дейін ауытқу болуы мүмкін, демек бірқалыптылық мәселесі маңызды. Көптеген ғалымдар бірқалыптылыққа жету үшін шығу

беру және шығу арнасы көлемдері арасындағы қатынас әсері қолданылған үлгілер (Y06, Y07, Y09, Y10).

тесіктері алдына қарсы аздап кедергі орнатуды ұсынған. Ұзын жіңішке сызатты саңылау бар бөлгішті зерттей келе саңылау арқылы қысымның төмендеуін қамтамасыз ету үшін сызат ернін ұзарту (кедергі әсері) тиімді болуы мүмкін [14]. Аталғандарды ескере отырып біздің дизайнде h биіктік кішірейтілген, ал шығу арнасының

ұзындығы L ұзартылған (10 мм ден 30 мм-ге дейін) болатын (Y01). h мәні төмендеген, L ұзартылған сайын жүйе ішіндегі қысым артады, ал L ұзарған сайын пышақты өндіру үдерісі қиындайды. Сондықтан оңтайлы геометрияны іздеу жұмыстары жүргізілді.

Жалпы цилиндрлік беру арнада соңына қарай ағып, бір мезетте бүйірлік сызат арқылы тікбұрышты микроарнаға өтетін ағынның шарттары мен сипаттамалары, көп тесікті, ал негізінде ұзын сызатты ағын бөлгіштер (slot distributor) теориясына [15] ұқсас. Сұйық шығатын тесіктердің, өткізу қабілеті беру арнасындағы қысым мен ағынға сәйкес келуі қажет, көп тесікті сұйық бөлгіштегі бірқалыптылық бүйірлік тесіктердің жалпы ауданының беру арнасы қимасының ауданына қатынасы бірліктен аз ($A_o/A_i < 1$) болған кезде қамтамасыз етіледі [16]. Біздің алғашқы зерттеулерде $A_o/A_i < 1$ сай дұрыс нәтиже алынғанымен $A_o/A_i = V_i/V_{oavg}$ теңдігі көп жағдайда кішкене ауытқумен орындалды және қосымша L параметрінің әсері байқалды.

1-кестеде зерттелген үлгілерде $h = 0,1$ мм, сонда $A_i/A_o = 1,23$. Демек, қайсы үлгіде V_{oavg}/V_i қатынас көрсеткіші 1,23-ке жақын немесе жоғары болса, бірқалыптылық (U) жоғары және қолдануға жарамды деген сөз. Мұнда сандық модельдеу көмегімен зерттелген үлгілерден анықталған бірқалыптылық h мәні арқасында жоғары болып тұр. Дәл

осындай параметрлермен эксперимент негізінде алынған үлдірлерден өлшенген сұйық мөлшерінің бірқалыптылығы салыстырмалы түрде төмен болды. Өйткені үлдірдің аса жұқалығы мен шығу жылдамдығының төмендігіне қатысты ауа кедергісі және беттік керілу (сұйық) құбылысы әсерінен үлдір қысқарады да шеткі ұяшықтардағы сұйық мөлшері төмен болады. Мысалы Y01 үлгіде модельдеу ($V_i = 3$ м/с) бойынша алынған шығу жылдамдығының графигі бірқалыпты әрі U мәні жоғары болғанымен, тәжірибеде үшбұрыш пішінді үлдір қалыптасты (3а-сурет). Тек беру жылдамдығын 5–6 м/с арттырған кезде ғана толық трапеция пішінді үлдір алуға мүмкіндік болды (3б-сурет), $U = 78,17\%$. Жылдамдық одан әрі артқан сайын бірқалыптылық төмендей бастады, $V_i = 7$ м/с болғанда $U = 75,23\%$. Өйткені шығу арнасының бас жағындағы ағында сұйық бөлшектерінің Z осі бойымен ығысуының артуы салдарынан X осіндегі жылдамдық төмендеді. Ал, беру жылдамдығы $V_i = 5$ м/с болған эксперимент нәтижесі бойынша анықталған сұйық мөлшерінің вариация коэффициенті, $C_v = 76\%$ (3г-сурет), U және C_v арасындағы ауытқу 3–4%.

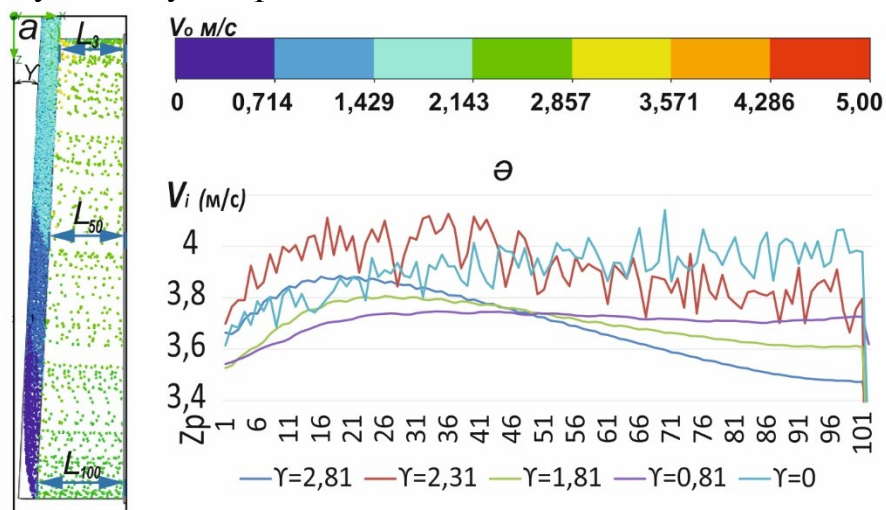
Беттік керілу күшін және ауа кедергісін жеңу үшін V_i -ді арттыру қажет, ал ол артса бірқалыптылыққа кері әсері бар, демек берілген биіктікке сай дұрыс беру жылдамдығы анықталуы қажет және ол СМТ енгізу нормасына тәуелді. Дегенмен үдеріс терең топырақ қабаты

астында жүретіндіктен беттік керілу құбылысы болмауы да мүмкін, өйткені СМТ ағыны сұйық ауадан бұрын топырақ бөлшектерімен соқтығысады. Сонда төмен беру жылдамдығы да (2–3 м/с) тиімді болуы мүмкін.

Үлгілерді қысқаша талдау. Y01 және Y07 үлгілерінің тиімділігі олардан алынған шығу жылдамдығы жоғары, бұл өз кезегінде ағып шыққан сұйықтықтың топырақ бөлшектерімен жақсы араласуын қамтамасыз етеді. γ -бұрышына байланысты сызат саңылау топырақ ағынына жақын болса, Y04 үлгіні қолданғанда беттік керілу күші елеусіз болуы мүмкін.

Y05 үлгінің ерекшелігі ол кедергіні қарастырмайды, онда тек шығу арнасындағы сұйық ағыны инерциялы өтетін аймақ пен аз өтетін аймақтың ауданын теңгеруге тырысады (5а-сурет). $\gamma = 0,81$ үлгіде жалпы шығу жылдамдығы төмендегенімен, оның графигі бірқалыпты болды, $U = 94,31 \%$, ал $C_v = 89 \%$, өзара ауытқу 6–7 %.

γ мәнінің шамадан тыс жоғарылағанда шығу арнасының соңғы бөлігіндегі V_0 керісінше төмендеп кетеді, ал бастапқы бөлігінде артады ($\gamma = 2,81$, 5ә-сурет). Бұл 3 ә-суреттегі жағдайға алып келеді.



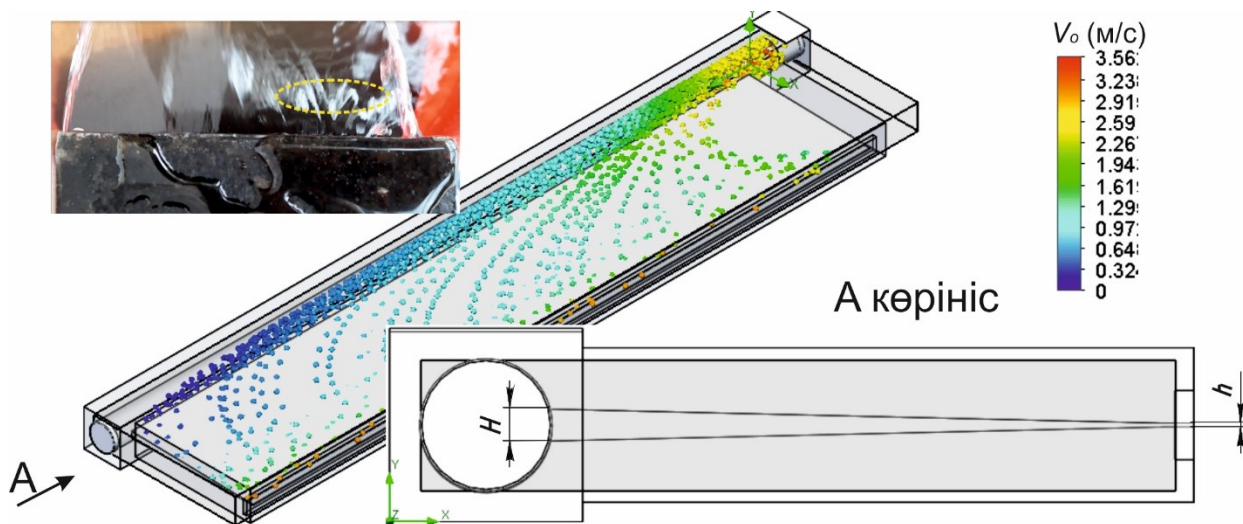
5-сурет. γ бұрышының шығу жылдамдығының бірқалыптылығына әсері: а) сұйықтық ағынының визуал көрінісі; ә) түрлендірілген үлгілерден алынған шығу жылдамдығының графикалары

Y08 үлгіде шығу арнасы сына тәрізді етіп жасалған болып, бұл үлгіні жасау технологиясы өзгелерге қарағанда жеңіл, фрезерлік станокта ойып, баспақпен басу арқылы алуға болады. Эксперимент үшін $H = 0,6$ мм, $H = 1$ мм және $H \approx 2$ мм болған нұсқалар және олардың 3D

модельдері жасалды, сосын екі жағдайдан алынған нәтижелер салыстырылды. Модельдеу нәтижелері сына тәрізді микроарнаның бастапқы бөлігінде сұйықтық ағынының инерциясы мен ығысу құбылысына байланысты бос қуыс пайда болатындығын көрсетті (6-сурет). $H = 1$ мм болған модельден

алынған шығу жылдамдығының графигі тұрақты болды, дегенмен, арнаның бас жағындағы жылдамдық көрсеткіштері төмен. 6-суреттегі фотодан сұйық үлдірдің

сары түспен белгіленген аймағынан шығу жылдамдығы басқа бөлікпен салыстырғанда төмен екендігі білініп тұр. $H = 0,6$ мм, $H = 2$ мм модельдері тиімді нәтиже бермеді.



6-сурет. Сына пішінді үлгіден ($H = 1$ мм) өткен сұйық ағынының визуал көрінісі және эксперименттік металл пышақтан алынған үлдір (фото)

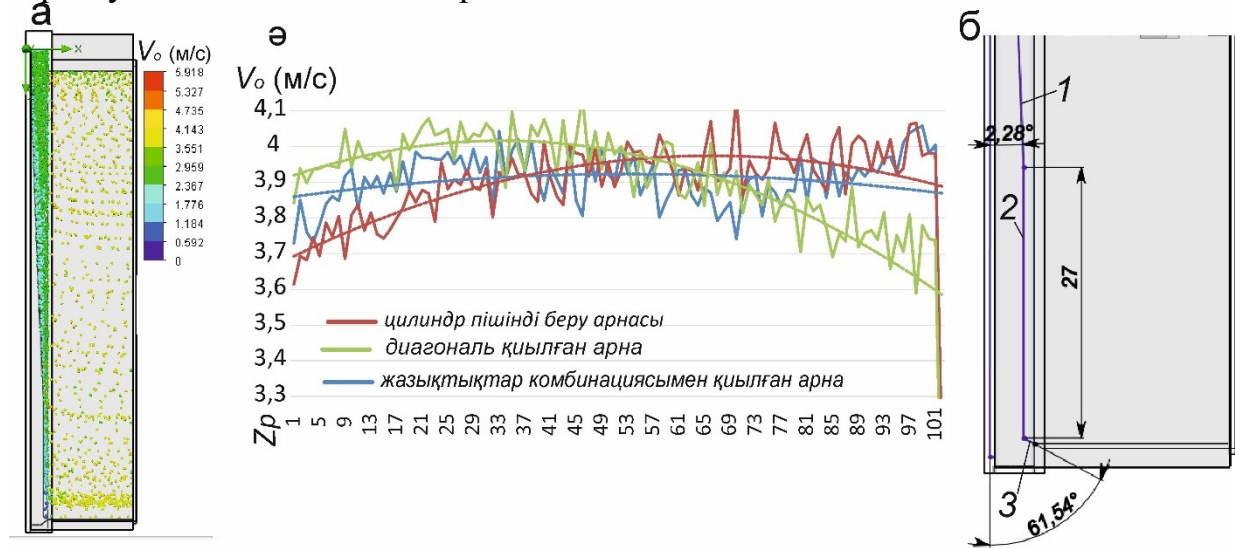
Беру арнасы ұшына қарай тарылған пішінді сұйық ағынын бөлгіштер қысымның төмендеуіне оң әсер етеді [17]. Ал қысымның біртіндеп төмендеуі бірқалыптылықты қамтамасыз етеді. Конус пішінді беру арнасы бар үлгіден алынған нәтижелер мұны тағы бір дәлелдеді. Y06 үлгі конустығы (K) әр түрлі беру арнасын қолдана отырып зерттелді. Нәтижеде шығу жылдамдығы графигі тұрақтанды, ағын инерциясы төмендеді (1-кесте). Бұл үлгіде конустық шаманың, сонымен қатар екі – беру арнасы мен шығу арнасы көлемдерінің арасындағы қатынастың әсері бар екені байқалды. $K = 0,02$ болған арнаны қолданған кезде бірқалыптылық 90,01% болды. Алайда, конустық шамадан тыс артса U мәніне кері әсер етеді.

Беру арнасы мен шығу арнасы көлемдерінің арасындағы қатынастың әсері маңызды болған тағы бір үлгі – Y07 (7a-сурет). Зерттеу кезінде бір жазықтықпен қию тәсілдері оң әсер бермегендіктен бірнеше жазықтықпен қию әдісі қолданылды (7б-сурет). Бұл әдіс қолданылған үлгіде шығу жылдамдығының графигі айтарлықтай тұрақты ($U = 85\%$, $C_v = 76\%$) және жылдамдық көрсеткіштері жоғары (1-кесте) болды.

Компьютерлік модельдеу сынақтары Y09, Y10 үлгілердің оң нәтиже бермейтінін көрсетті және бұл жағдайлар зертханалық эксперименттермен расталды. Мысалы 5 ә-суретте көрсетілген цилиндр пішінді беру арнасы (Y09) 10 мм-ге қысқарған үлгіден

алынған сұйық үлдірде $w = w_1$ шарты орындалмай тұр. Алайда, зерттеу C және r өлшемдер тек d

және $2d$ аралығында болған кезде ғана тиімді болатынын көрсетті.



7-сурет. Сұйықтың ағынының визуал көрінісі (а). Салыстырылған үлгілерден алынған шығу жылдамдығының графигі (ә). Арнаны тарылтушы қиюшы жазықтықтар комбинациясы (б). 1. Бірінші қиюшы жазықтық; 2. Екінші қиюшы жазықтық; 3. Үшінші қиюшы жазықтық.

Қорытынды

Solidworks Flow Simulation® бағдарламасы зерттелген үлгілер бойынша сұйық шығынын 15%-дейін ауытқумен болжап бере алды және h биіктікке қатысты дұрыс беру жылдамдығы қолданғанда ғана ауытқу төмендейтіні анықталды.

Бірқалыптылыққа кедергі әсері, шығу және беру арналары көлемінің қатынасы, шығу арнасы биіктігі (h), тарылту бағыты, беру арнасының пішіні сияқты факторлар әсер ететіні анықталды. Ең бастысы шығу арнасынан көрі беру арнасына геометриялық өзгерістер енгізу барқалыптылықты арттыруда маңызды. Беру арнасындағы қысымның өзгеру графигі тік сызықты болмауы тиіс. Биіктікке (h) қатысты беру жылдамдығы (V_i) дұрыс

анықталғанда ғана U оңтайлы болады.

Зерттелген моделдер шеңберінде ($w = 102$ мм) $Y01$, $Y05$ ($\gamma = 0,81$), $Y06$ ($K = 0,02$) және $Y07$ (қиюшы жазықтықтар комбинациясымен) үлгілер тиімді болатыны анықталды. $Y01$ және $Y08$ үлгілер механикалық өндеу жолмен жасауға қолайлы. $Y02$, $Y03$ және $Y04$ үлгілерден бастапқы $Y01$ модельді жасау кезінде жіберілетін кейбір механикалық ауытқулардың кері әсері болмайтынын көруге болады. Беттік керілу күшінің кері әсері болғанда $Y04$ үлгі маңызды болуы мүмкін. 4–6 м/с жылдамдығы шегінде $h = 0,9–0,12$ мм болғанда толық сұйық үлдір қалыптасатыны экспериментпен дәлелденді. Мұның w -нің мәні ұзын (125–150 мм) болған

пышақтарда қалай тиімді болары алдағы зерттеулерде қарастырылады.

Анықталған мәліметтерді тұтқырлығы жоғары сұйықтық үшін тиісті параметр таңдауда қолдануға болады. Беру арнасы мен

шығу арнасы көлемдерінің арасындағы қатынастың маңызы ескеріліп, Y01 және Y07 үлгілер алдағы зерттеу және жетілдіру жұмыстары нысаны ретінде таңдап алынды.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (№АР14869093 грант).

Әдебиеттер тізімі

1 Altintas S. The effects of mineral and liquid organic fertilizers on some nutritional characteristics of bell pepper [Текст] / S. Altintas, A. F. Eryilmaz // African Journal of Biotechnology. – 2012. –V.11 №24, –P. 6470-6475. [DOI: 10.5897/AJB11.2568](https://doi.org/10.5897/AJB11.2568)

2 Chaorakam I. Field Evaluation of Subsoiling and Liquid Fertilizer Injection for Minimum Tillage of Sugarcane Planter (Part 1) -Effects of Subsoiling and Liquid Fertilizer Injection on Germination Test [Текст] / I. Chaorakam, A. Sukcharoen, T. Jaiphong, // International Journal of Applied Science and Technology. – 2012. –V.2 №7, –P. 234-242.

3 Cândido de Souza. Fertigation and foliar application with liquid mineral fertilizer doses on lettuce [Текст] / Cândido de Souza, Á. H. Lorenzoni, M. Z. Rezende, R., et. al., // Scientia Agraria. –2018. –№19. –P. 37-43.

4 Yuvraj G. Kasal. Effect of travel speed of tractor on rate of application in liquid fertilizer application system [Текст] / G. Yuvraj Kasal, Amol Gore, P. S. Poonam, M. Thalkar // Plant Archives, – 2018. –№18(1). –P. 987-990.

5 Костиков И.Ф. Устройство для создания минерализованной полосы противопожарного назначения [Текст] / И.Ф. Костиков, И.М. Богапов, Х.К. Танбаев // Новости науки Казахстана. – 2016. –№3(129). – С.111-119.

6 Xiuyun X. Variable Rate Liquid Fertilizer Applicator for Deep-fertilization in Precision Farming Based on ZigBee Technology [Текст] / X. Xiuyun, X. Xufeng, Z. Zelong, Z. Bin, S. Shuran, L. Zhen, H. Tiansheng, Huixian // IFAC-Papers OnLine. – 2019. –№ 52(30). –P. 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.487>

7 Yamin M. VRT liquid fertilizer applicator for soil nutrient management [Текст] / M. Yamin, W. I. Wan Ismail, M. S. Mohd Kassim, S. Abd Aziz, R. Shamshiri // Jurnal Teknologi. –2016. –№78(1-2). <https://doi.org/10.11113/jt.v78.7271>

8 Chen Y. A liquid manure injection tool adapted to different soil conditions [Текст] / Y. Chen // Transactions of the ASAE. –2002. –№45 (6). –P.1729-1736. <https://doi.org/10.13031/2013.11419>

9 Vasilyev A. A. Mechanized spraying of liquid meliorants [Текст] / A. A. Vasilyev, S. A. Vasilyev, N. P. Shkilev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. –2020. –V.421. № 3. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032026>

10 Precision Planting. FurrowJet. [Электронный ресурс] – 2020 –URL: <https://www.precisionplanting.com/products/product/furrowjet>

11 Exactrix® Global Systems LLC. P-51 MUSTANG. [Электронный ресурс] 2013 –URL: <http://www.exactrix.com/mustang.htm>

12 Танбаев Х. К. Рабочий орган для внутрипочвенного внесения жидких удобрений [Текст] / Х.К.Танбаев // Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18: «Молодёжь и наука – взгляд в будущее». – Нур-Султан, -2022. – С.23-27. –ISBN: 978-601-257-220-9

13 Satish G. K. Evolution of Microchannel Flow Passages -Thermohydraulic Performance and Fabrication Technology [Текст] / G. K. William J. G. Satish // Heat Transfer Engineering, –2003. –№24:1. –P.3-17. <https://doi.org/10.1080/01457630304040>

14 James N T. Fluid & Particle dynamics Section 6. In: [Perrys Chemical Engineers handbook 8/E \[Текст\] / N. T. James. – McGraw-Hill Professional. New York, USA; –2007. –P. 633](#)

15 Zemlyanaya N.V. Analysis of Causes of Non-Uniform Flow Distribution in Manifold Systems with Variable Flow Rate along Length [Текст] / N.V. Zemlyanaya, A.V. Gulyakin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. –2017, –V.262. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/262/1/012098>

16 Senecal V. E. Fluid distribution in process equipment [Текст] / V. E. Senecal // Ind. Eng. Chem. –1957. –№49(6). –P.993-997. <https://doi.org/10.1021/ie50570a031>

17 Hassan J.M. CFD simulation for manifold with tapered longitudinal section [Текст] / J.M.Hassan, W.S.Mohammed, T.A.Mohamed, W.H.Alawee // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2014.–№4. – P.28-35.

References

1 Altintas S. The effects of mineral and liquid organic fertilizers on some nutritional characteristics of bell pepper [Text] / S. Altintas, A. F. Eryilmaz // African Journal of Biotechnology. – 2012. –V.11 №24. –P. 6470-6475. [DOI: 10.5897/AJB11.2568](https://doi.org/10.5897/AJB11.2568)

2 Chaorakam I. Field Evaluation of Subsoiling and Liquid Fertilizer Injection for Minimum Tillage of Sugarcane Planter (Part 1) -Effects of Subsoiling and Liquid Fertilizer Injection on Germination Test [Text] / I. Chaorakam, A. Sukcharoen, T. Jaiphong, // International Journal of Applied Science and Technology. – 2012. –V.2 №7. –P. 234-242.

3 Cândido de Souza. Fertigation and foliar application with liquid mineral fertilizer doses on lettuce [Text] / Cândido de Souza, Á. H. Lorenzoni, M. Z. Rezende, R., et. al., // Scientia Agraria. –2018. –№19. –P. 37-43.

4 Yuvraj G. Kasal. Effect of travel speed of tractor on rate of application in liquid fertilizer application system [Text] / G. Yuvraj Kasal, Amol Gore, P. S. Poonam, M. Thalkar // Plant Archives, – 2018. –№18(1). –P. 987-990.

5 Kostikov I.F. Ustroistvo dlya sozdaniya mineralizovannoi polosy protivopozharnogo naznacheniya [Text] / I.F. Kostikov, I.M. Bogapov, H.K. Tanbaev // Novosti nauki Kazahstana, –2016. –№3(129). –S.111–119.

6 Xiuyun X. Variable Rate Liquid Fertilizer Applicator for Deep-fertilization in Precision Farming Based on ZigBee Technology [Text] / X. Xiuyun, X. Xufeng, Z. Zelong, Z. Bin, S. Shuran, L. Zhen, H. Tiansheng, Huixian // IFAC-Papers OnLine. – 2019. –№ 52(30). –P. 43–50.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.487>

7 Yamin M. VRT liquid fertilizer applicator for soil nutrient management [Text] / M. Yamin, W. I. Wan Ismail, M. S. Mohd Kassim, S. Abd Aziz, R. Shamshiri // Jurnal Teknologi. –2016. –№78(1-2).
<https://doi.org/10.11113/jt.v78.7271>

8 Chen Y. A liquid manure injection tool adapted to different soil conditions [Text] / Y. Chen // Transactions of the ASAE. –2002. –№45(6). –P.1729-1736.
<https://doi.org/10.13031/2013.11419>

9 Vasilyev A. A. Mechanized spraying of liquid meliorants [Text] / A. A. Vasilyev, S. A. Vasilyev, N. P. Shkilev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. –2020. –V. 421. –№ 3. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032026>

10 Precision Planting. FurrowJet. [Электронный ресурс] – 2020 –URL: <https://www.precisionplanting.com/products/product/furrowjet>

11 Exactrix® Global Systems LLC. P-51 MUSTANG. [Электронный ресурс] 2013 –URL: <http://www.exactrix.com/mustang.htm>

12 Tanbaev H. K., Rabochii organ dlya vnutripochvennogo vneseniya zhidkih udobrenii [Text] H. K. Tanbaev // Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii «Seyfullinskie chteniya – 18: «Molodyozh' i nauka – vzglyad v budushchee». Nur-Sultan, -2022. -S. 23-27.

13 Satish G. K. Evolution of Microchannel Flow Passages -Thermohydraulic Performance and Fabrication Technology [Text] / G. K. William J. G. Satish // Heat Transfer Engineering, –2003. –№24:1. –P. 3-17.
<https://doi.org/10.1080/01457630304040>

14 Senecal V. E. Fluid distribution in process equipment [Text] / V. E. Senecal // Ind. Eng. Chem. – 1957. –№49(6). –P.993-997.
<https://doi.org/10.1021/ie50570a031>

15 [James N T. Fluid & Particle dynamics Section 6. In: Perrys Chemical Engineers handbook 8/E \[Text\] / N. T. James. – McGraw-Hill Professional. New York, USA; –2007. –P. 633](https://doi.org/10.1021/ie50570a031)

16 Zemlyanaya N.V. Analysis of Causes of Non-Uniform Flow Distribution in Manifold Systems with Variable Flow Rate along Length [Текст] / N.V. Zemlyanaya, A.V. Gulyakin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. –2017. –V.262. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/262/1/012098>

17 Hassan J.M. CFD simulation for manifold with tapered longitudinal section [Текст] / J.M. Hassan, W.S. Mohammed, T.A. Mohamed, W.H Alawee // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2014. –№4. – P.28-35.

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ НОЖА ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Танбаев Хожакелди Кувандикович

Магистр сельскохозяйственных наук

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

г. Нур-Султан, Казахстан

E-mail: khozhakeldi.tanbayev@kazatu.kz

Нукешев Саяхат Оразович

Доктор технических наук, профессор

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

г. Нур-Султан, Казахстан

E-mail: s.nukeshev@kazatu.kz

Аннотация

В статье представлены результаты геометрических изысканий формы внутренней полости почвообрабатывающего ножа для внутрипочвенного внесения жидких минеральных удобрений (ЖМУ). Изложенные результаты и рекомендации необходимы для определения уровней факторов, способствующих формированию равномерного потока жидкости, выбора материала и технологических методов для производства данного ножа. Результаты исследований могут быть важным и в других отраслях производства, таких как экструзия пленки и лакокрасочных покрытий, формирование воздушных завес, а также создание щелевых распределителей. Целью исследования является поиск геометрической формы, параметров полости, формирующих максимально широкую и равномерную жидкую пленку внутри почвы на всю ширину обработки ножа рабочего органа. Для моделирования потока жидкости использована программа Solidworks Flow Simulation[®] которой является одним из инструментов современной вычислительной гидродинамики (CFD). Научной новизной являются обоснованные пределы конструктивных параметров полости ножа рабочего органа для внутрипочвенного внесения жидких минеральных удобрений.

Установлено, что при ширине ножа $w = 102$ мм, модифицированные образцы, где изменено расположение оси канала подачи относительно плоскости лезвия ножа (Y05, при $\gamma = 0,81$), образец с входным каналом конической (суженной) формы (Y06, когда $K = 0,02$) и образец, где входной канал сужается к концу канала путем сечения вертикальной плоскостью (Y07, комбинация плоскостей сечения) являются более эффективными и показали достаточно высокие показатели равномерности распределения жидкости на выходе из щели ножа. Выявлены пределы параметров высоты щели ножа $h = 0,9-0,12$ мм (для воды), обеспечивающие равномерное истечение жидкости из щели.

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика; моделирование потока жидкости; жидкие минеральные удобрения; жидкая пленка; глубокая обработка почвы; почвообрабатывающий нож; чизельный плуг.

SUBSTANTIATION OF GEOMETRIC FORMS OF A TILLAGE KNIFE FOR INTRASOIL APPLICATION OF LIQUID MINERAL FERTILIZERS

Tanbayev Khozhakeldi Kuvandikovich
Master of Agricultural Sciences
S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University
Nur-Sultan, Kazakhstan
E-mail: khozhakeldi.tanbayev@kazatu.kz

Nukeshev Sayakhat Orazovich
Doctor of Technical Sciences, Professor
S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University
Nur-Sultan, Kazakhstan
E-mail: s.nukeshev@kazatu.kz

Abstract

The paper presents the results of the flow channel geometry investigations of the soil tillage knife for liquid mineral fertilizers (LFM). The results and recommendations are necessary to determine the factors contributing to the formation of a uniform liquid flow, in selecting of material and technological methods for the production of this knife. The obtained results can be used for such processes as film and coating extrusion, for obtaining air curtains, as well as in the development of slot distributors. The purpose of the study was to find out the geometry and parameters of the knife channels that form a wide and uniform liquid sheet across the entire width of the knife slot nozzle during the movement under soil layer. One of the modern tools of computational fluid dynamics (CFD), Solidworks Flow Simulation[®] software was used for fluid flow simulations and calculations. The scientific novelties are the substantiated limits of channel's

design parameters of the tillage knife for liquid mineral fertilizers. According to the research results, has determined that the modified sample which the location of the feed channel axis relative to the knife rear plane has changed (Y05, at $Y = 0.81$), the sample with the conical (narrowed) feed channel (Y06, when $K = 0.02$) and the sample that the feed channel narrows towards the end of the channel by cutting with combination of vertical planes (Y07) are more effective among the investigated models with knife width of $w = 102$ mm and has showed a sufficiently high indices of liquid distribution uniformity at the outlet of the knife slot. The parametric limits of knife slot height (for water) providing a uniform flow of liquid from the slot has revealed, $h = 0,9-0,12$ mm.

Key words: computational fluid dynamics; fluid flow modeling; liquid mineral fertilizers; liquid sheet; deep tillage; tilla