

are described. To reduce energy consumption by equipment involved in the bee cell processing line, a device for centrifugal scarification of cells has been retrofitted. In the most energy-intensive operations, which operate for a long time, new drying devices consuming solar energy have been installed. The use of solar energy for bee bread processing equipment represents an efficient and environmentally sustainable solution in Kazakhstan due to the sufficient density of solar energy per unit surface area. Comparative assessment of electricity consumption in the existing and proposed technologies has shown the high efficiency of our own development.

Keywords: bee bred, beeswax, beekeeping, technology, scarification, drying unit, solar dryer

MPNТИ 55.57.33, 68.85.29

DOI <https://doi.org/10.37884/2-2024/52>

С.О. Нукешев¹, Х.К. Танбаев^{2*}, Г.С. Есжанов², К.М. Тлеумбетов¹

¹«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Астана қ. Қазақстан.

s.nukeshev@kazatu.edu.kz, k.tleumbetov@kazatu.edu.kz

²«Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті», Көкшетау қ. Қазақстан.

khozhakeldi@shokan.edu.kz*, gesjanov@shokan.edu.kz

ЖАРТЫ ШЕҢБЕР ПІШІНДІ САҢЫЛАУЛЫ ЖАЛПАҚ БҮРІККІШТІҢ СОҚҚЫ БЕТІ РАДИУСЫ ЖӘНЕ ОСЫ БЕТТЕГІ АҒЫННЫҢ ҚАЛЫҢДЫҒЫ

Аңдатпа

Жұмыста сұйық минералды тыңайтқыштарды (СМТ) топырақ ішіне енгізуге арналған жарты шеңбер пішінді саңылауы бар жалпақ бүріккіштің соққы беті радиусы мен соққы бетінде қалыптасатын ағын қалыңдығын анықтаудың теориялық негіздері, оның есептік сұйықтық динамикасы бағдарламасымен (ЕСД) талдауы және эксперименттер нәтижелері келтірілген. Топырақ қуысының астында және өңдеу пышағының бүкіл ұзындығы бойлап бүрку жолағын қалыптастыратын жалпақ ағынды саптамаларды пайдалану СМТ-ны өңделген топырақпен (бөлшектерімен) жоғары тиімді араласу үдерісін қамтамасыз етіп, өсімдіктердің жетілуіне оң ықпал етеді. Бүріккіш сұйық минералды тыңайтқыштарды топыраққа астарлай енгізуге арналған болса да, ол беткейлік бүркуге, сондай-ақ ұшты табан соқамен қолдануға және ауаны ылғалдандыру, өрттің алдын алу сияқты басқа салаларда да қолдануға жарамды. Теориялық есептеулер негізінде анықталған қолданымды соққы беті радиусы 2,5–4 мм шамасында. $D_s = 2,5$ мм тиімді саналады. Ағынның қалыңдығы саптаманың биіктігіне (h) тәуелсіз екендігі және оның минимал мәнін анықтайтыны белгілі болды. Жалпы саптама биіктігі ағынның қалыңдығынан 2–3 есе артық болғаны дұрыс. Соққы бетінде бірқалыпты ағын қалыңдығы қамтамасыз етілген бүріккіште ғана бірқалыпты бүрку пайда болады.

Кілт сөздер: жалпақ бүріккіш, топыраққа астарлай енгізу, ағын қалыңдығы, минералды тыңайтқыштар, соққы беті, Ansys Fluent.

Кіріспе

Елімізде дәнді және бұршақ дақылдарының орташа өнімділігі әлі де төмен. Мысалы 2021 жыл үшін бұл көрсеткіш 10,4 ц/га болды, бұл өткен маусымға (2020 жыл) қарағанда 19%-ға төмен. Оның ішінде бидайдың жылдық өнімділігі 21%-ға төмендеп, 9,3 ц/га құрады [1]. Аталған мәселеуі шешудің бір тәсілі – өсімдіктердің тамыр жүйесінің тұрақты дамуына қолайлы жағдай жасау үшін егістік жерлердің ылғалдылығын, минералды және қоректік заттарын арттыруға, сақтауға бағытталған топырақты өңдеу, мелиоранттарды енгізу бойынша жүйелі іс-шаралар жүргізу [2]. Ал мұндай шаралар өз кезегінде СМТ-ны топыраққа астарлай

енгізетін сапалы техникалық жабдықпен қамтуды талап етеді. Мұндай техникаларда негізгі атқарушы элемент бүріккіштер саналады.

Зерттеу барысында Bete Fog Nozzle, Inc., PNR Italia Srl, Spraying Systems Co., Lechler GmbH сияқты танымал брендтердің бүріккіш саптамаларын қарастырдық және олардың ізденіс гипотезасына сәйкес қолдануға жарамдылығы Solidworks Flow Simulation® көмегімен визуал талдау арқылы бағаланды. Олардың ішінде біздің гипотезаға қолданымды түрі – жалпақ бірқалыпты шашырататын бүріккіштер болып табылады. Қолданыстағы жалпақ бүріккіштердің негізгі кемшілігі олар қымбат, бірнеше құрама элементтерден тұрады, ауқымдық (биіктік, ені, ұзындығы) өлшемдері үлкен. Топыраққа астарлай енгізу талабынан келе, бүріккіштің биіктігі артқан сайын, ол орнатылатын топырақ өңдеуші пышақтың биіктігі артады, бұл жұмыс органының тарту кедергісінің артуына себеп болады.

Саптаманы параметрлеуге қатысты негізгі ғылыми сұрақтар бүрку үдерістеріне, ал бұл сұйықтық динамикасы және саптаманың геометриялық ерекшеліктерімен байланысты. Пішіні және өлшемдері әртүрлі бүріккіш саптамалар тамшыларға ыдырайтын үздіксіз ағын немесе сұйықтық үлдірін қалыптастырады. Мұнда бүрку бұрышы сұйықтықты бүрку үдерісінде маңызды параметр болып табылады [3-5]. Бұл саптаманың шығуындағы ағын өрісіне, осылайша одан әрі тамшылардың мөлшері мен жылдамдығына, кейін тамшылардың қажетті нысанаға жету мүмкіндігіне әсер етеді [6]. Өз кезегінде көлденең орналасқан соққы беті бар саптамаларда бүрку бұрышы, сұйықтық ағыны (үлдірі) қалыңдығы және жылдамдығы [7] осындай бүрку түзілу үдерістерін және жалпы қолданбалы зерттеулерде басты параметрлер болып табылады.

Біздің жағдайда, ұсынылған саптаманың соққы беті жарты шеңбер пішінге ие және өңдеу пышағының ізі бойымен топырақ асты қуысында өңделген (ылғалданған) жолақты (жолақты) қалыптастыруға қажетті бүрку бұрышын қамтамасыз етеді [8]. Шолулар көрсеткендей жарты шеңбер пішінді соққы беті бар жалпақ бүріккіштерде соққы беті радиусы мен сұйықтық ағыны қалыңдығын анықтау және талдау бойынша зерттеулер жеткіліксіз. Сондықтан бұл мәселеге кірісу үшін алдымен радиал (толық шеңберлі) беттерге қатысты теориялар зерттелді.

Көлденең орналасқан дөңгелек пішінде пластинаға соғылған су ағынын [9] *шектесу қабаты* теориясын қолдана отырып зерттеді. Оның зерттеулерінде сұйықтың жұқа ағынының қозғалысы мен сұйық үлдірдің пайда болу үдерісі динамикасын қарастыру арқылы аналитикалық түрде төрт аймаққа бөліп зерттелді. Сұйықтық үлдірінің қалыңдығын және дефлектордың (соққы бетінің) шетіндегі жылдамдықты анықтау үшін *еркін беттік ағын* теориясын қолдану [10] жұмысында баяндалған. Олар ұсынған модельдеу тәсілі біздің жағдайымызға барынша жақын. Бірақ олардың зерттеулерінде саптама мен пластина арасындағы алшақтықтың H мөлшері ескерілмеген.

Сонымен, соққы бетіндегі ағын мен бүркудің бірқалыптылығы осы беттегі ағын қалыңдығы бірқалыптылығына байланысты. **Зерттеудің негізгі мақсаты** есептік сұйықтық динамикасы (ЕСД) талдауларын қолдана отырып, жарты шеңбер пішінді соққы беті бар бүріккіш арқылы өтетін ағынның қалыптасуын және оның қалыңдығын зерттеу, бүрку бұрышына және бүрку бірқалыптылығына әсер ететін жағдайларды анықтау. Осы мақсатта көлденең жазықтыққа перпендикуляр түскен сұйықтық ағынының радиалды таралу теориялары талданып, шекаралық қабат пен үлдір (ағын) қалыңдығын болжауға арналған теңдеулердің Ansys Fluent-пен үйлесімділігі тексерілді.

Әдістер мен материалдар

Бүріккіштің соққы беті радиусы мен осы беттегі сұйықтық ағыны қалыңдығын анықтауды теориялық негізі. Көлденең орналасқан дөңгелек пішінді соққы беті бар саптамада соққы бетіне соғылған сұйықтықтың радиал және осимметриялық ағыны келесі теңдеулермен сипатталады:

$$\frac{\partial(ru)}{\partial r} + \frac{\partial(r\omega)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$u \left(\frac{\partial u}{\partial r} \right) + \omega \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) = \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

мұндағы r – ағынның центрінен радиалды қашықтық, z – соққылық бет диаметрі, u және w – жылдамдықтың сәйкес компоненттері, ν – кинематикалық тұтқырлық.

$$z = 0 \text{ болғанда, } u = w = 0 \quad (3)$$

$$z = h(r) \text{ кезде, } \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

$$Q = 2\pi r \int_0^{h(r)} u \partial z \quad (5)$$

u осьтік бағыттағы жылдамдық профилін еркін беттегі $U(r)$ жылдамдық функциясы және $f(\eta)$ ұқсастық шешімі ретінде қайта жазуға болады:

$$u = U(r)f(\eta) \quad (6)$$

$$\eta = \frac{z}{h(r)} \quad (7)$$

Зерттелетін жағдайға қатысты шарттар келесідей: соққы беті тұрақты (4), еркін беттегі ығысуға кернеуі елеусіз аз (7) және радиалды ось бойындағы ағын жылдамдығы тұрақты (6). Берілген радиалды бағыт бойынша ағынды (6) теңдеуді қайта жазуға болады:

$$Q = 2\pi r U h \int_0^1 f(\eta) d\eta \quad (8)$$

Сұйықтық қабатының қалыңдығы бойынша жылдамдық профилінен интеграл алу үшін [11, 484 б.] интегралдау әдісін қолданды:

$$\int_0^1 f(\eta) d\eta = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}c^2} \quad (9)$$

мұндағы $c = 1,402$ -ге тең интегралдық тұрақты шама. Соңында, тұрақты ағын теңдеуі (9) келесідей қайта жазылуы мүмкін:

$$rUh = \frac{3\sqrt{3}c^2 Q}{4\pi^2} \quad (10)$$

Осылар негізінде радиал таралатын сұйық ағынының (үлдірінің) теориялық зерттеулерде алғашқы шектесу қабаты биіктігін және ағын қалыңдығын анықтау бойынша бірнеше ғалымдар [9-12] зерттеп, тәуелділіктерді ұсынған. Радиал қашықтық (r) біздің қолданбалы зерттеуіміз үшін маңызды, өйткені ол соққы бетінің радиусын және бүрку жылдамдығы мен бұрышын анықтауды қамтамасыз етеді.

Пажи мен Галустов [13] ұсынған теңдеу бойынша қалыпты биіктікте таралу радиусын анықтауға болады:

$$R_{rc} = \left(\frac{9}{16\pi^2 k} \right)^{1/3} \left(\frac{Q^2 \rho}{\mu U_0} \right)^{1/3} \quad (11)$$

Бұл шашырау радиусы біздің жағдайдағы соққы беті радиусын шамалауға мүмкіндік береді. R_{rc} – тұйықталу радиусы (*closure radius*) деп аталады. Есеп шешімдері бойынша $k = 1$ болғанда есептелген $R_{rc} = 11,13075651$ мм, ал $k = 4$ [14] болғанда $R_{rc} = 7,011937216$ мм. Сонымен қатар олардың пікірінше жұқа ағын қабатының қалыңдығы (δ_{fi}) төмендейді және

белгілі бір R_{rc} қашықтықта ол шекара қабатының қалыңдығына (δ_b) айналады. Ал [15] жұмыста ұсынғаны бойынша бұл радиус:

$$r_o = 0.3155 \sqrt[3]{\frac{\alpha QR^2}{\nu}} \quad (12)$$

Есептеулерге сәйкес, $h = 0,7$ мм болғанда $r_o = 5,75105982$ мм және $h = 0,3$ мм кезінде $r_o = 4,792174405$ мм. Мұндағы h – саптама саңылауының биіктігі. Жалпы (11) және (12) теңдеулер біздің зерттеуіміз үшін соққы бетінің радиусының шамалық шегін анықтайды және ол $r < r_o$ болады. Осы шектерді ескере отырып біздің зерттеуіміз үшін соққы бетінің шекті радиусы 6 мм шамасында таңдалуы мүмкін. Ал эксперименттік тексеру шегін 2–6 мм аралығында алуға болады.

Соққы бетіне ағынның тура түсуі (эсер ету) нәтижесінде пайда болатын радиалды кеңейетін сұйықтық (үлдірдің) қабатының $h_{(r)}$ қалыңдығы *масса мен импульстің сақталу заңына* байланысты радиалды r қашықтығының жоғарылауымен азаяды [16]. Ағын шекаралық қабат типіне жатады және ол ағынның осіндегі тоқырау нүктесінен шашырағанға дейін артады. Уотсон ағынды төрт аймаққа бөлді, бірақ олар бір-біріне үздіксіз ауысады және сәйкесінше біздің зерттеуіміз үшін үшінші аймақтың шарттары қолайлырақ. $h_{(r)}$ ағын қалыңдығын [9] келесідей тұжырымдады:

$$h_{(r)} = \frac{a^2}{2r} \quad (13)$$

мұндағы r – ағынның осінен қашықтық; a – соққыш ағынының радиусы.

Шынында да, жазықтықтағы сұйықтықтың $h_{(r)}$ қалыңдығы аз және нәтижелер соққы беті геометриясымен байланысты қысқа ұзындық шамаларына сәйкес келеді. Радиалды шашырауда да, тұтқыр қабырға әсерлері де сұйық қабаттың қалыңдығын бақылайды және ол $r = 1.43r_o$ дейін төмендейді, содан кейін артады.

Екінші ағын аймағында (яғни соққы бетінде) үлдірдің қалыңдығын (h_d) анықтау үшін [10, 286 б.] келесі теңдеуді ұсынды:

$$h_{(r)} = \frac{r_o}{2r_d} + C_1 \cdot \left(\frac{7v_l}{V_j}\right)^{1/5} \cdot r_d^{4/5} \quad (14)$$

мұнда r_o – ағынның гидравликалық радиусы ($r_o = d/2$); v_l – сұйықтықтың кинематикалық тұтқырлығы; r_d – соққы бетінің радиусы ($r_d = D_s/2$); V_j – ағын жылдамдығы; және $C_1 = 0,01659$. Есептелген $h_{(r)}$, $r_d = 2,5$ мм ($D_s = 5$ мм) болғанда 0,1–0,2 мм болды, ал $r_d = 4$ мм ($D_s = 8$ мм) болғанда ол 0,06–0,12 мм.

Радиал соққы бетіндегі сұйық ағыны қалыңдығы анықтау бойынша [15, 66.] зерттеулерінде $h_{(r)}$ өрнегін екі әсердің: радиалды ағынның дисперсиясы және шекаралық қабаттың ығысу қалыңдығының қосындысы ретінде ұсынды. Бұл өрнек бүкіл ағын шекаралық қабаттың ішінде, яғни $r \leq r_o$ болғанда жарамды:

$$h_{(r)} = \frac{R^2}{2r} + \left(1 - \frac{2\pi}{3\sqrt{3}c^2}\right) \delta \quad (15)$$

Сонда шекаралық қабат:

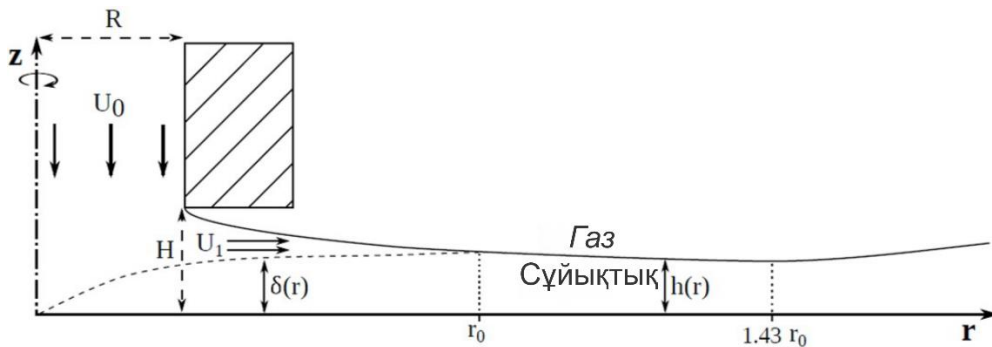
$$\delta = \sqrt{\frac{\sqrt{3}c^3 \nu r}{(\pi - c\sqrt{3})U_o}} \quad (16)$$

Де Коктың [15, 8 б.] зерттеуі саптама мен соққы беті арасындағы саңылау биіктігін H есепке алған және бұл біздің зерттеулерімізде қарастырылатын саңылау ерекшелігіне сай келеді (1-сурет). H саңылауы азайған кезде, сұйықтың шығу ауданы кіру ауданынан аз болуы мүмкін, бұл жұқа цилиндрлік тесіктен кейін таралатын негізгі ағын жылдамдығының жоғарылауына әкеледі. Сонымен қатар минимал h , $h_{(r)}$ биіктен шамамен 2–3 есе артық болғаны дұрыс.

1-суретте тік ағынның жұқа көлденең бетке соғу нәтижесінде пайда болатын радиалды ағынның жарты қимасы берілген. Онда, r – радиалды қашықтық, R – соққыш ағын радиусы, H – саптама мен соққы беті арасындағы қашықтық, U_o – тік (беру) ағынның орташа

жылдамдығы, U_1 – негізгі радиал ағынның жылдамдығы, $h(r)$ – сұйықтық үлдірдің қалыңдығы және $\delta(r)$ – шекаралық қабаттың қалыңдығы. Ағынның бөлінуі саптаманың ішкі бұрышында жүреді, бұл ағынның тарылуына әкеледі, сондықтан нақты шығу ауданы кішірейеді. Ағынның негізгі жылдамдығы ағынның әсер ету аймағынан кейін кіру ауданындағы U_0 -дан U_1 -ге дейін өзгереді. Бұл жылдамдықтың жоғарылауы мұнда $1/\alpha$ тең және α төмендегі теңдеуімен анықталады:

$$\alpha = \frac{U_0}{U_1} = \frac{2HC_c}{R} \quad (17)$$



1-сурет. Тік ағынның жұқа көлденең бетке соғу нәтижесінде пайда болатын радиалды ағынның жарты қимасы [15]

Де Коктың тұжырымы бойынша сұйықтық қабатының биіктігі мен беткі жылдамдығын α айнымалысын қосу арқылы теңдеулерді қайта жазуға болады. $r \leq r_0$ болғанда, 14 және 15 теңдеулер келесідей өзгереді:

$$h(r) = \frac{\alpha R^2}{2r} + \left(1 - \frac{2\pi}{3\sqrt{3}c^2}\right) \delta \quad (18)$$

(18) формуланы (17) қою және Ansys Fluent[®] бағдарламасында қолдану үшін ықшамдалып нәтижесінде (17) формула келесі түрге енеді:

$$h(r) = \frac{U_0 R^2}{U_1 2r} \quad (19)$$

Талдаулар Ansys Fluent[®] нәтижелерін бағалайтын теңдеулерде Q (ағынның көлемдік жылдамдығы) немесе U_1 (шығу жылдамдығы) сияқты шығыс параметрлері болуы керек екенін көрсетеді. Үлдір дефлекторлық пластинадан шыққан кездегі орташа жылдамдығын массаның сақталу заңын ескере отырып есептеуге болады және оның теңдеуін [10, 286 б.] ұсынған болатын. Ол формуланы кері түрлендіру арқылы $h(r)$ -ді анықтаудың Q және U_1 параметрлері сипатталған формуласы шығады:

$$h(r) = \frac{Q}{2\pi r_d U_1} \quad (20)$$

Теориялық зерттеулер негізінде радиал бүріккіш үшін анықталған, соққы бетіндегі ағын биіктігін табу формулаларының есептік сұйық динамикасы бағдарламасымен сәйкестігі және оның жарты шеңбер тәрізді саңылаулы бүріккіш үшін қолдануға жарамдылығын тексеру, қажетті түзетулер енгізу жүргізіледі.

Біз ұсынған бүріккіштегі саңылаудың пішіні жарты шеңбер болғандықтан, (19) және (20) теңдеулердің бөлгішіндегі 2-ні қысқарту орынды. Сонда:

$$h(r) = \frac{U_0 R^2}{U_1 r} \quad (21)$$

$$h(r) = \frac{Q}{\pi r_d U_1} \quad (22)$$

Теңдеулер келесі теңдік арқылы бақылануы мүмкін:

$$h(r) = \frac{Q}{U_1 l} \quad (23)$$

мұнда l – жарты шеңберлі соққы беті бар бүріккіштің шығу аймағындағы доға ұзындығы. Алайда, мұнда жылдамдық профилі әртүрлі болатындығын ескеру қажет. Беру жылдамдығы

төмендеген сайын ағын қалыңдығы артады, тіпті саңылау төбесіне жабысады, яғни бетке керілу әсері жүреді. Ал ағын қалыңдығы кіші болған сайын бүрку жылдамдығы да жоғары болады және ұсақ тамшылар пайда болады.

(21) теңдікті (22) формуламен барынша теңестіру үшін j – жұмыстық радиустарға байланысты толық шеңберлі және жарты шеңберлі соққы беттері (impact surface) арасындағы қатынас қажет болады. Сонда (21) формула келесідей өзгереді:

$$h_{(r)} = j \frac{U_0 R^2}{U_1 r} \quad (24)$$

Ал j қатынас келесідей анықталады:

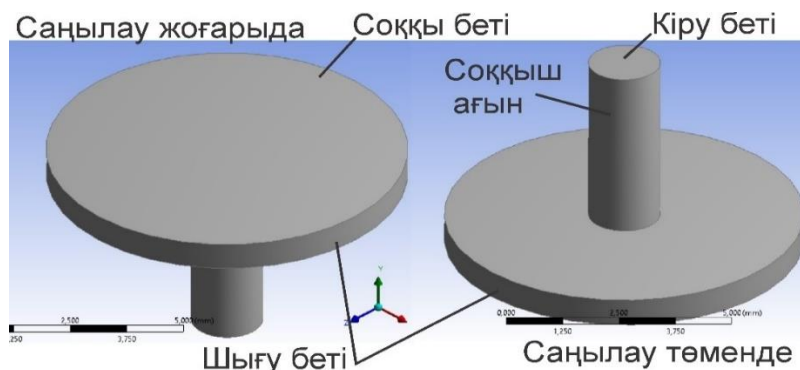
$$j = \frac{2r^2}{(R^2 + r^2)} \quad (25)$$

Сонымен жарты шеңбер пішінді ағынның қалыңдығын болжауға арналған екінші теңдеу:

$$h_{(r)} = \frac{2rU_0R^2}{(R^2+r^2)U_1} \quad (26)$$

Теориялық есептеулер кезінде анықталған сенімді $h_{(r)}$ мәндері өз кезегінде h -тің мәніне тәуелді емес және ол h -тің минимал мәнін анықтауға көмектеседі. Ал бұл параметрдің мәні бүріккіштің құрылымдық биіктігін, өз кезегінде пышақтың қалыңдығын анықтауда маңызды, сонымен қатар ауысу тесігінің қажетті ауданын реттеуге көмектеседі.

Есептік сұйық динамикасы (CFD) көмегімен талдаулар. Радиалды ағын облысымен есептеулер. Есептік сұйық динамикасы көмегімен есептеулер Ansys Fluent® бағдарламасын қолданып орындалды. 2-суретте дөңгелек пішінде соққы беті бар толық шеңберлік саңылауы бар саптамада қалыптасатын ағынның облысы шашыратқыш саңылауы жоғары және төмен жағдайларда көрсетілген. Әсері зерттелетін негізгі геометриялық кіріс параметрлері 1-кестеде көрсетілген.



2-сурет. Дөңгелек пішінді соққы беті бар толық шеңберлік саңылауы бар саптамада қалыптасатын ағынның облысы

1-кесте. Негізгі геометриялық енгізу параметрлері

Параметрлер [23]	Параметрлер (Ansys workbench)	ID	Мәні, мм
K	Extrude2.FD1	P3	5
rd	Plane4.R16	P7	4
h	Extrude4.FD1	P9	0,7
r	ZXPlane.R5	P23	0,8

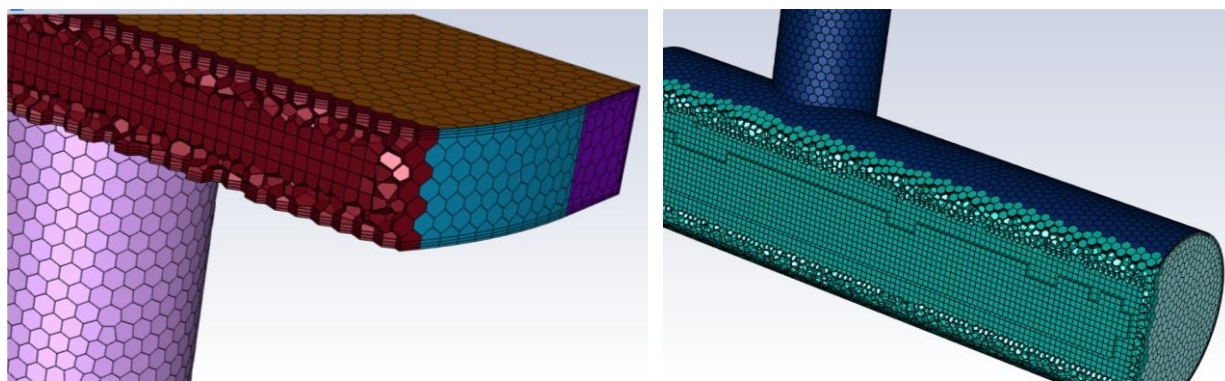
Шекаралық шарттар үшін *кіру* және *шығу* беттері, тұрақты әрі жабысқақ емес сипаттағы *соққы беті* мен *қабырға* тағайындалды. Кіруде тұрақты параметр болып, сұйықтың кіру жылдамдығы 6 м/с. Есептеулер кезінде беру жылдамдығы 3–9 м/с аралығында таңдалды.

Негізгі шығу параметрлері – қысым, шығу жылдамдығы (м/с). Есептеулерде қысым-жылдамдық жұптастыру (*pressure-velocity coupling*) әдісі, ал дәлдікті қамтамасыз ету үшін екінші ретті қарсы жел (*second-order upwind*) сұлбасы қолданылды. Көп қырлы (*polyhedral* немесе *polyhexcore*) торлау (*meshing*) әдісі қолданылды және 2 226 545 түйіні, 2 408 жиегі, 2 945 602 беті және 506 265 ұяшығы бар 3D торы пайдаланылды. Тордың орташа ортогональдық сипаттағы сапасы 0,24–0,38 шамасында болды. 3-суретте жарты шеңбер пішінде соққы беті бар ағын облысының тор құрылымы көрсетілген. Денелердің өзара байланысы үшін *тегіс ауысу* (*smooth-transition*) әдісі қолданылды. Есептеулер кезінде тұтқырлықты ескеру үшін стандартты *k-omega* моделі таңдалды [17, 18]. Ағын ортасы ретінде су пайдаланылды, тығыздығы 998,2 кг/м³, ал тұтқырлығы 0,001003 кг/м·с. 2-кестеде алғашқы есептеуден кейінге негізгі шығыс параметрлері көрсетілген. Бұл шарттар барша зерттелген нұсқаларға тиісті.

2-кесте. Негізгі шығыс параметрлері. Параметрлік қосымшадан үзінді. Ansys Fluent®

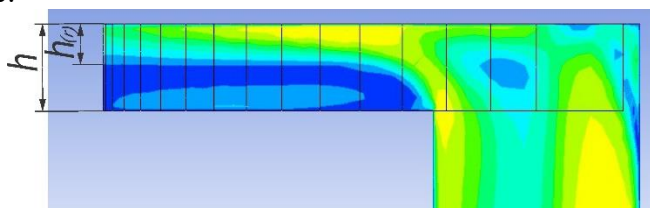
Output Parameters (Нәтиже параметрлер)	Parameter Name (Параметрлер атауы)	Value defined at first calculation (Алғашқы есептеуде алынған мәндер)	Unit (Өлшем бірлігі)
Fluent (with Fluent Meshing) (B1)			
P33	im-surf-area-op	50,262202	мм ²
P34	vol-fl-rate-uot-op	-12042,717	мм ³ /с
P35	out-surf-area-op	17,592505	мм ²
P36	mass-flow-rat-out-op	-0,01202104	кг/с
P37	area-weig-ava-out-op	-0,000123239	МПа
P38	im-surf-force-op	-2,27E-07	N
P39	uni-mas-wei-out-velo-op	0,76385903	
P40	mass-weig-ava-outl-op	2211,9706	мм/с
P41	area-ratio-op	-1,43E-07	
P43	max-out-veloc-op	3655,9081	мм/с
P44	ave-out-velo-radi-op	174,93817	мм/с
P45	ave-out-veloc-op	1323,9293	мм/с
P46	min-out-velos-op	35,93304	мм/с
P47	max-out-veloc-radi-op	2210,2368	мм/с
P48	sd-out-veloc-radi-op	623,58409	мм/с
P54	Eq. 15 h (22)	0,131065788	мм
P57	Eq. 31 h _(r) (26)	0,131294329	мм

Мұнда Eq.15h және Eq. 31 h_(r) үлдір қалыңдығын есептеуге арнап енгізілген теңдеулер. Соққы бетіндегі сұйық ағыны қалыңдығын талдау бойынша келесі параметрлерді қолдана отырып теңдеулердің мәндері алдын ала анықталды, сосын бағдарламамен сәйкестілігіне есептеулер жүргізілді: $r_j = d/2 = 0.8$ мм; $V_j = 6$ м/с; $Q = 0,00001206372$ м³/с. $Re = 9576$. Есептік жағдайда анықталған нәтижелер сосын визуал алынған нәтижелермен салыстырылды және $h_{(r)}$ мәнін анықтау бойынша формулалардың сәйкестілігі анықталады. Толық радиал бүрку бойынша тиісті формулалардың үйлесімділігі анықталған соң жарты шеңбер пішінді соққы беті бар жалпақ бүріккішпен де зерттеулер жүргізілді [19, 20].



3-сурет. Ағын облысының тор құрылымы

4-суретте модельденген сұйықтық ағыны бойынша $h_{(r)}$ мәнін визуал өлшеу көрсетілген, $h_{(r)} = 0,164$ мм. Соққы беті жарты шеңбер тәрізді болғанда ағын әдеттегі радиал шашырайтын ағынға ұқсамайды, өйткені бір жағы жабылып, ал ағын келесі ашық жаққа бағытталады. Бұл жағдайдан бірқалыпты шығу ағынын алу үшін саңылау және тік тесікке қатысты дұрыс геометрияны іздеу қажет. Бірқалыптылық саңылаудың геометриясына және өлшемдеріне байланысты. Сондықтан зерттеу үшін жарты шеңбер пішінді бүрку үшін алдымен соққы беті мен саңылаудың пішініне іздеу жүргізілді. Мұнда қарастырылатын геометрия және оның параметрлері Ansys Fluent® бағдарламасында, атап айтқанда модельдеу, торлау қосымшаларында және есептеулер кезінде дұрыс оқылуы шарт. Сонымен қатар, геометрия рұқсат етілген ауытқулар шегінде бүркудің бірқалыптылығын қамтамасыз етуі және өндіру үдерісіне оңай болуы тиіс.



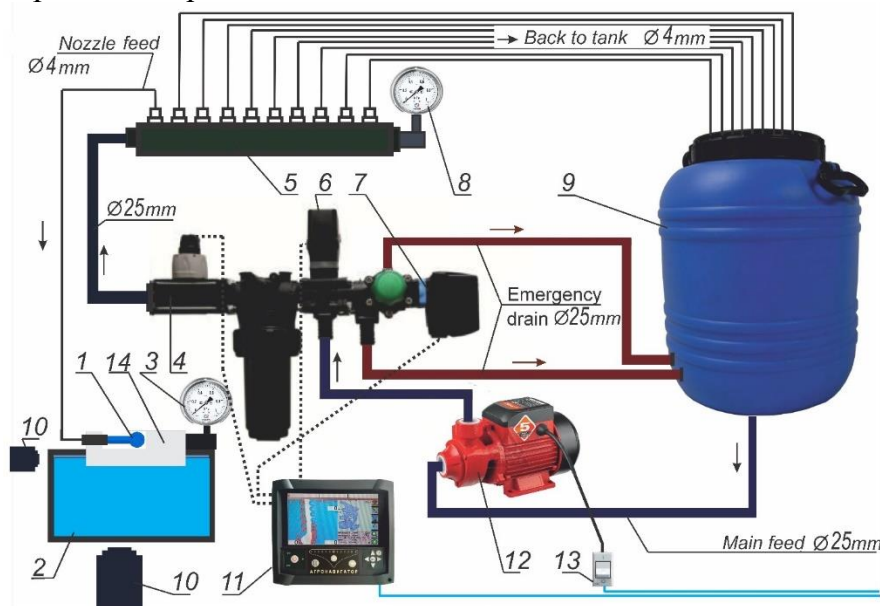
4-сурет. ЕСД есептеулермен алынған сұйықтық ағыны (жарты шеңбер пішінді нұсқа) қалыңдығы ($h_{(r)}$)

Бүріккіш бетінің геометриясы (саңылау тесігі) үздіксіз ұзын және жарты цилиндр пішінді болғандықтан шығу беті бірнеше тең бөліктерге – терезелерге (w) бөлінді.

Зертханалық эксперименттік аппарат. 3D модельдеу және оңтайландыру есептеулерінен кейін саптамалар басып шығарылды және жұмысқа жарамдылығын тексеру үшін бірнеше эксперименттер жүргізілді. Тәжірибелер бүрку сапасының келесі сипаттамаларын анықтады: бүріккіштің толықтығы мен симметриялығы, беру бағытына перпендикулярлығы, біркелкілігі, бүрку бұрышы, құлау бұрышы, айқас бүрку және шығу жылдамдығының көрсеткіштері. Ағын облысын модельдеу кезінде алынған сұйықтық ағынының анықталған шашырау бұрыштары сосын эксперимент нәтижелерімен салыстырылды (шашырау бұрышының фотосуреттері). Көрнекі салыстыру, бұрыштық өлшемдерді алу үшін бейне және фото жазбалар жасалды, содан кейін бүрку параметрлері КОМПАС-3D®, CorelDRAW® сияқты бағдарламаларда жоғары дәлдікпен өлшенді.

5-суретте 10 шығу түтігі бар эксперименттік қондырғының схемасы көрсетілген. Эксперименттік қондырғыда СМТ-ны дифференциалдық әдіспен қолдану технологиясына арналған электронды құрылғылар да орнатылған. Бүріккіштер санын өзгертуге және шығу түтіктерін бұғаттау арқылы сұйықты беру қысымы режимдерін (9 режим) өзгертуге болады. Артық түтіктер су ыдысына бағытталады. Өлшеу панеліне бүрку бұрышын өлшеу үшін

сызғыш пен бұрыш өлшегіш орнатылған (14). Бейнекамералар тік алдынан және жоғарыдан (10) көрініс алуға мүмкіндік береді.



5-сурет. Тәжірибелік қондырғының схемасы

- 1 – тәжірибелік саптама; 2 – су жинайтын ыдыс (30 Л); 3 – түтік манометрі (0,6 Мпа); 4 – шығын өлшегіш; 5 – таратқыш; 6 – негізгі басқару клапаны; 7 – пропорционалды басқару клапаны; 8 – таратқыштағы манометрі (0,6 Мпа); 9 – резервуар (50 Л); 10 – бейнекамералар; 11 – борттық компьютер; 12 – беттік сорғы (400 квт, 35 Л/мин) 13 – қосқыш; 14 – өлшеу панелі

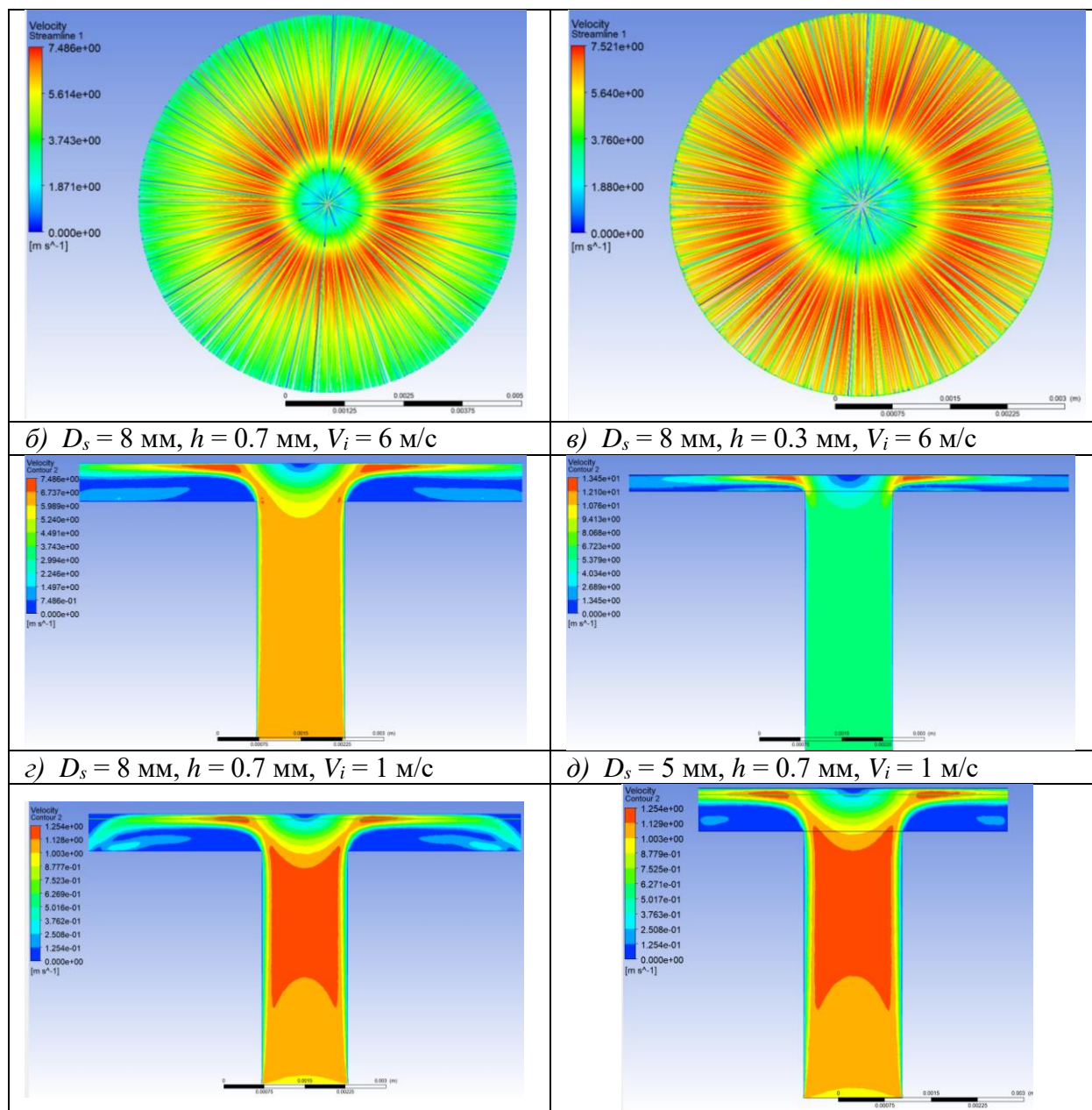
Зерттеу нәтижелері және талқылау

ЕСД-мен талдау нәтижелері. Ағын қалыңдығын зерттеу пішіні толық дөңгелек және жарты шеңбер болған модельдерді салыстыру жолымен жүргізілді. Зерттелген саңылау пішіні дөңгелек болған бүріккіштердің параметрлері: 1) $D_s = 8$ мм, $h = 0,7$ мм; 2) $D_s = 5$ мм, $h = 0,7$ мм; 3) $D_s = 8$ мм, $h = 0,3$ мм; 4) $D_s = 5$ мм, $h = 0,3$ мм. Кіру жылдамдықтары: $V_i = 6$ м/с және $V_i = 1$ м/с. Олардың жылдамдық профилін беретін қимасы жасалып, h_d қалыңдықтың визуал мәні анықталды.

$D_s = 8$ мм (6а-сурет) және $D_s = 5$ мм болған нұсқаларды салыстыру екі жағдайда да соққы бетіндегі жылдамдықтың радиалды ауысу қашықтықтары бар екенін көрсетеді, онда ағын жылдамдығы бірінші максимумға жетеді, содан кейін төмендейді. $D_s = 5$ мм жағдайда бүрку жылдамдығы жоғары болады (6б-сурет), ал $D_s = 8$ мм, $h = 0,3$ мм, $V_i = 6$ м/с болғанда ағын жылдамдығы профилі төрт аймақты құраса және соңғы, төртінші аймақта жылдамдық шамамен 2 м/с шамасында төмендейтінін көруге болады (6а, б-сурет).

Саңылау биіктігінің минималды биіктігін ескеру қажет. Саңылау биіктігі аз болса (0,3 мм) ағын үлкен кедергіге ұшырайды (6в-сурет) және шығыс жылдамдығы артады. Саңылау биіктігі үлкен болғанымен ол ешқашан толып ақпайды (6б-сурет). Өйткені ағын жылдамдығы және сұйықтық тұтқырлығына байланысты ол тиісті қалыңдығын сақтап ағады. D_s , h және беру жылдамдығы (V_i) сияқты параметрлердің шекті мәндері қолданылған бұл талдаудан олардың маңызды әсерін байқауға болады. Кіру жылдамдығы бүріккішке қатты әсер ететіні анық. Мұны $V_i = 1$ м/с болған жағдайлардан көруге болады (6г-сурет), мұнда ағын дисктің сыртқы шеңберіне жақын аймақта төмен құлайды. Ал $D_s = 5$ мм болғанда ол құлап үлгермейді (6д-сурет).

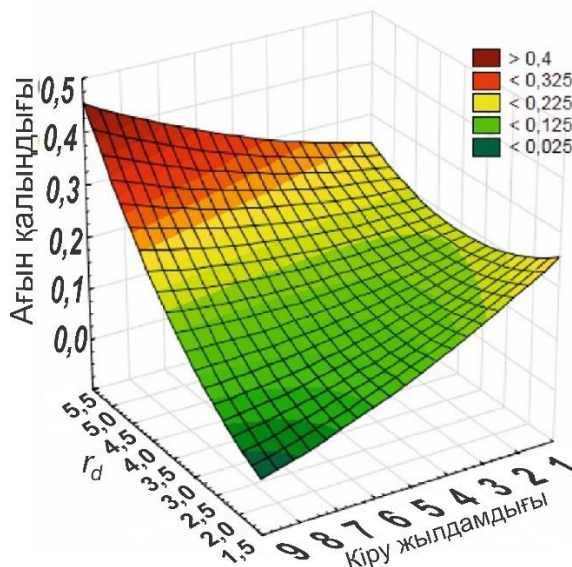
a) $D_s = 8$ мм, $h = 0.7$ мм, $V_i = 6$ м/с	ә) $D_s = 5$ мм, $h = 0.3$ мм, $V_i = 6$ м/с
--	--



6-сурет. Жылдамдық профилімен берілген сұйықтық ағыны облысының үстінен көрінісі (а, б) және қималары (в-д)

Қалыңдығы әр түрлі бүріккіштер үшін анықталған мәндер (15) формула көмегімен бағдарламада есептелгенде $h_{(r)}$ қалыңдықтың орташа мәні 0,1546 мм, ал (18) формуламен есептелгенде 0,1549 мм болды. ЕСД есептеп, сосын визуал өлшегенде $h_d = 0,164$ мм шамасында болды. Визуал және есептік анықталған мәндер арасындағы ауытқу 5,5% құрады.

7-суретте кіру жылдамдығы V_i мен соққы беті радиусының r_d ағын қалыңдығына әсері көрсетілген. Көрініп тұрғандай жылдамдық төмендегенде және радиус артқанда қалыңдық та артады. Тиімді шамалар, 6–8 м/с беру жылдамдығымен, 2,5–4 мм соққы беті радиусында 0,1–0,2 мм ағын қалыңдығы болып тұр. Біздің гипотеза үшін ағын қалыңдығы 0,14–0,16 мм аралығында болғаны дұрыс. Теориялық тұрғыдан беру жылдамдығы артқанда ағын қалыңдығы төмендейді және ол тиімді мәнге дейін ғана.



$$h_{(r)} = 0,4624 - 0,1345x - 0,0674y + 0,0168x^2 + 0,0144xy + 0,0014y^2$$

7-сурет. Беру жылдамдығы мен соққы беті радиусының ағын қалыңдығына әсері

Келесі басқышта бүріккіштер жарты шеңбер пішінді ағын облысын моделдеу арқылы бағаланады. Таңдалған ағын облысы геометриясы бойынша параметрлік мәндер анықталып, (19) және (20) теңдеулердің қолдануға жарамдылығы тексерілді. Теориялық шолуда қарастырылған, белгілі теңдеулерді жарты шеңберлік пішінді есептеу кезінде қолдану нәтижелері 3-кестеде ұсынылған.

3-кесте. Есептеу нәтижелері

Шығу параметрлері			
Параметрлердің коды	Параметрлердің атауы	Мәндері	Өлшем бірлігі
P33	im-surf-area-op	26,706291	мм ²
P34	vol-fl-rate-uot-op	-18824,241	мм ³ /с
P35	out-surf-area-op	8,7976559	мм ²
P36	mass-flow-rat-out-op	-0,018790359	кг/с
P43	max-out-veloc-op	13174,082	мм/с
P54	Eq. 15 h(r) (19)	0,056853505	мм
P57	Eq. 31 h(r) (20)	0,056929963	мм

3-кестеден көріп тұрғандай, таңдалған теңдеулерді (19) және (20) қолдана отырып жарты шеңбер пішінді нұсқалар бойынша Ansys Fluent-те есептелген $h_{(r)}$ мәндері, дөңгелек пішінді жағдайға қарағанда дерлік 2–3 есе төмен болды (P54 және P57 мәндер). Бұл теңдеулер $h_{(r)}$ мәнін болжай алмағанын білдіреді.

Келесі есептеу кезінде қолданылған (21-23) және (26) формулалардың тиімділігі байқалды. Аталған формулаларды қолданып, ЕСД мен анықталған ағын қалыңдығы 0,11–0,14 мм және деректерді салыстыру кезіндегі есептеулерде қолданылуы мүмкін. Оңтайландырылған нұсқаларды қолданып анықталған $h_{(r)}$ мәндері 8-суретте берілген. Мұнда P87 кодта (22) теңдеуі, P88 кодта (23) теңдеуі, P92 кодта (26) теңдеуі қолданылғын.

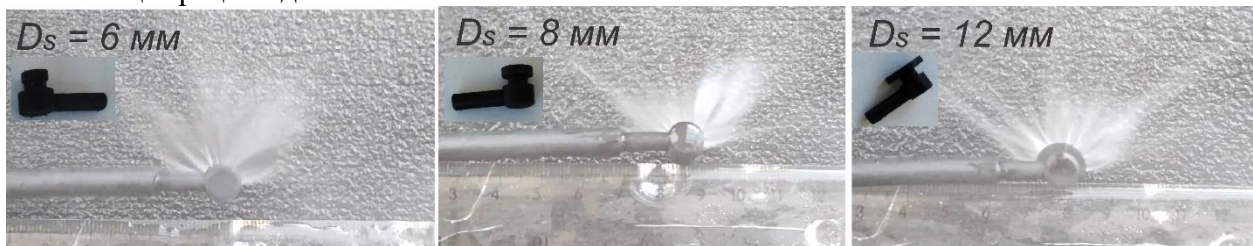
Name	P2- Extrude4. FD1	P4- Plane4.R 16	P8- Extrude1 2.FD4	p9- velocity Vi	P113- ZXPlane. R5	P115- Plane4.L1 8	P116- YZPlane. D4	P117- YZPlane. V5	P87- hd Eq1 28out	P88- hd Eq3 28 out	P92- hd Eq4 28 out	P110- eq2-op	P111- eq1-op	P112- End ratio U
Units	mm	mm	mm	mm s ⁻¹	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
DP 8	0,5	2,5	2	2000	0,8	0	2	0,4	0,1144574	0,13208748	0,126093494	1,091	0,563	0,516
DP 7	0,5	2,5	2	3000	0,8	0	2	0,4	0,1129317	0,13032674	0,123931751	1,080	0,623	0,576
DP 6	0,5	2,5	2	4000	0,8	0	2	0,4	0,1138891	0,13143159	0,12391866	1,037	0,669	0,645
DP 5	0,5	2,5	2	5000	0,8	0	2	0,4	0,1140876	0,13166073	0,12340796	1,018	0,615	0,604
DP 0 (Curr	0,5	2,5	2	6000	0,8	0	2	0,4	0,1134492	0,13092394	0,122348664	1,000	0,601	0,601
DP 1	0,5	2,5	2	7000	0,8	0	2	0,4	0,1134888	0,13096967	0,122438366	1,005	0,588	0,585
DP 2	0,5	2,5	2	8000	0,8	0	2	0,4	0,1142363	0,13183226	0,123056315	0,984	0,591	0,601
DP 3	0,5	2,5	2	9000	0,8	0	2	0,4	0,1130924	0,13051225	0,121906317	0,990	0,594	0,600
DP 4	0,5	2,5	2	10000	0,8	0	2	0,4	0,1128762	0,13026271	0,122288906	0,985	0,587	0,596

8-сурет. Ansys Fluent бағдарламасына есептеулерден үзінді

Мұнда ағын қалыңдықтары Ansys Fluent-те есептелген 124 жобалау нүктелерінің (құрылымдық нұсқалар) деректері бойынша анықталды. Беру жылдамдығы 5–8 м/с аралығында таңдалды. Байқалғандай (22) формула соққы бетіндегі, ал (26) ауысу терезесі маңайындағы ағын қалыңдығын айқындайды. Дегенмен бұл формулалардың тиімділігі турбулент ағынның бәсеңдеу дәрежесіне байланысты. Демек ағын бірқалыптылығына ағындағы турбуленттілік те әсер етеді. Оны бәсеңдету бүріккіштің геометриялық параметрлеріне тәуелді.

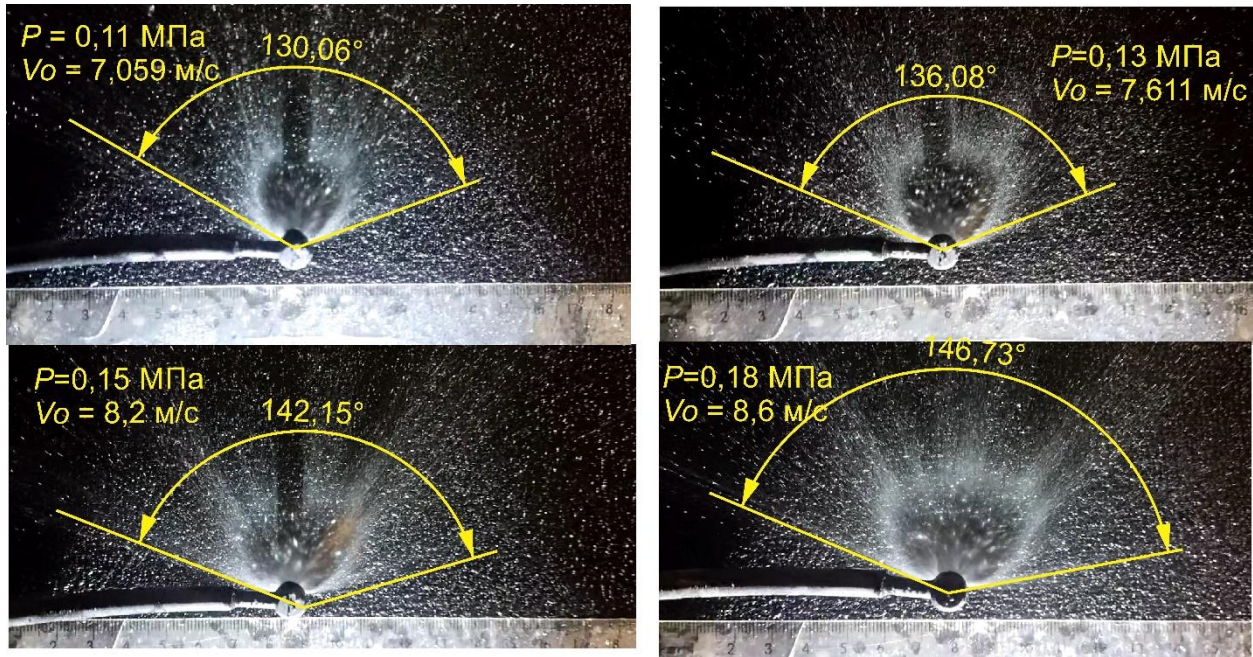
Эксперимент нәтижелері

Жалпы соққы бетінің радиусы бойынша бүрку сапасын тексеру D_s мәні 5 мм, 6 мм, 8 мм, 12 мм болған бүріккіштермен жүргізілді. 9-суретте $D_s = 6$ мм, $D_s = 8$ мм $D_s = 12$ мм бүріккіштерді визуал салыстыру көрсетілген. Көрініп тұрғандай радиустың артуымен соққы бетіндегі ағынның жылдамдығы төмендеуі салдарынан, үш жағдайда да бүрку сапасы нашар. Демек ағын қалыңдығының мәндері біркелкі емес. Бұл жағдайға әрине бүріккіштегі ағында қалыптасатын турбуленттіліктің әсері көрініп тұр. $D_s = 5$ мм болған бүріккіштерде бүрку сапасы жақсырақ болды.



9-сурет. Соққы бетінің диаметрі $D_s = 6$ мм, $D_s = 8$ мм $D_s = 12$ мм бүріккіштерден қалыптасқан бүркулерді визуал салыстыру

10-суретте параметрлері $h = 5$ мм, $d_l = 1,2$ мм, $d = 2$ мм болған бүріккіштерді тексеру кезінде түрлі беру жылдамдығына қатысты қалыптасқан бүрку пішіндері көрсетілген. Соққы бетінің диаметрі $D_s = 5$ мм. Мұнда бүрку дерлік шеңбер пішінді сұйық үлдір, сосын тиісті бұрыш жасап қалыптасуда. Байқалғандай беттік керілу құбылысы үлдірдің жинақталуына және бұрыштың ықшамдалуына өз әсерін беріп тұр.



10-сурет. $h = 5$ мм, $d_l = 1,2$ мм, $d = 2$ мм болған бүріккіштен түрлі беру жылдамдығына қатысты қалыптасқан бүрку пішіні

Зерттеудің **практикалық маңыздылығы** өсімдіктердің тез өнуіне ықпал ету үшін сұйық минералды тыңайтқыштар мен өңделген топырақтың (бөлшектерінің) жоғары тиімді араласу процесін қамтамасыз ету болып табылады. Сұйықтық 140° – 150° бұрыш жасап бүркігенде ұзындығы 150 мм топырақ өңдеуші пышақ ізінде қалыптасатын топырақ асты қуысында өңделген жолақ қалыптастырады. Жалпы бұл мақсатта жарамды бүрку бұрышы шегі 130° – 170° . Әрине ол агрегат жылдамдығымен реттелуі мүмкін. Бұл байланыс келесі зерттеулерде (далалық эксперименттер) қарастырылады.

Қолданылған формулалардың тиімділігін фундаментал тұрғыдан эксперименттік зерттеу үшін заманауи жоғары сезімтал құрылғылар талап етіледі.

Қорытынды

Ағын қалыңдығын және тиімді соққы беті радиусын анықтау бойынша теориялық шолу жасалды, бар болған формулалардың Ansys Fluent® бағдарламасында қолданымдылығы тексерілді. Жарты шеңбер пішінді саңылауы бар жалпақ бүріккіштің соққы бетінде өтетін ағын қалыңдығын ЕСД көмегімен бағалау бойынша формулалар ұсынылды. Бұл әрине қолданбалық ғылымдар үшін жарамды болғанымен, іргелі ғылыми мақсатта терең зерттеуді талап етеді.

Жұмыста бүріккіштің соққы беті радиусы мен оның шектері анықталды. Есептеулерде анықталғандай соққы бетінің радиусы 2,5–4 мм аралығында қолданымды, ал тиімді $D_s = 2,5$ мм эксперименттер көмегімен тексерілді.

Саңылау биіктігінің (h) ағын қалыңдығына $h_{(r)}$ әсері төмен және қарастырылған теориялық шешімдер көмегінде анықталатын ағын қалыңдығының мәні ең кіші h мәнін анықтап беретіні нақтыланды. h мәні $h_{(r)}$ -ден 2–3 есе жоғары болғаны дұрыс. Соққы бетінде бірқалыпты ағын қалыңдығы қамтамасыз етілген бүріккіште ғана бірқалыпты бүрку пайда болады. Беру жылдамдығы артқанда ағын қалыңдығы азаяды. Соққы беті радиусы артқан сайын жылдамдық бәсеңдеп, ағын қалыңдығына кері әсер етеді.

Алғыс

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды. Грант № AP19674514.

Әдебиеттер тізімі

1. АПК-Информ // <https://www.apk-inform.com/ru/news>. 8.02.2022.
2. Nukeshev S., Eskhozhin K., Tokushev M. et al. Substantiation of the Parameters of the Central Distributor for Mineral Fertilizers // *International journal of Environmental & Science Education*. – 2016. – Vol. 11, №15. – P. 7932-7945.
3. Siebald H., Hensel O., Kaufmann H.H. et al. Spray nozzle function control using acoustics for agricultural applications // *Biosystems Engineering*. – 2020. – Vol. 197. – P. 149-155.
4. Aliverdi A., Borghei M. Spray coverage and biological efficacy of single, twin symmetrical, and twin asymmetrical flat fan nozzles // *Acta Technologica Agriculturae*. – 2021. – Vol. 24, №2. – P. 92-96.
5. Makhnenko I., Elizabeth A., Fredericks S.A. et al. A review of liquid sheet breakup: Perspectives from agricultural sprays // *Journal of Aerosol Science*. – 2021. – Vol. 157. – P. 105805.
6. Fritz B., Hoffmann C., Czaczyk Z., Bagley W et al. Measurement and classification methods using the ASAE S572.1 reference nozzles // *Journal of Plant Protection Research*. – 2012. – Vol. 52. – P. 447-457.
7. Azuma T., Hoshino T., The Radial Flow of a Thin Liquid Film: 2nd Report, Liquid Film Thickness // *Bulletin of JSME*. – 1984. – Vol. 27, №234. –P. 2747-2754.
8. Tanbayev K., Nukeshev S., Engin T. et al. Flat spray nozzle for intra-soil application of liquid mineral fertilizers // *Acta Technologica Agriculturae*. – 2023. Vol 26, №2. – P. 65-71.
9. Watson E. The radial spread of a liquid jet over a horizontal plane // *Journal of Fluid Mechanics*. – 1964. – Vol. 20, №3. – P. 481-499.
10. Wu D., Guillemin D., Marshall A.W. A modeling basis for predicting the initial sprinkler spray // *Fire Safety Journal*. – 2007. – Vol. 42. – P. 283-294.
11. Fritz B., Hoffmann C., Czaczyk Z., Bagley W et al. Measurement and classification methods using the ASAE S572.1 reference nozzles // *Journal of Plant Protection Research*. – 2012. – Vol. 52. – P. 447-457.
12. Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Equations in Plane Flow; Plate Boundary Layer // *In book: Boundary-Layer Theory*. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2017. – P. 145-164.
13. Пажі Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
14. Белов И.А. Взаимодействие неравномерных потоков с преградами. – Л.: Машиностроение, 1983. – 144 с.
15. De Cock N., Massinon M. et al. Dynamics of a thin radial liquid flow // *Fire Safety Journal*. – 2016. – Vol. 83. – P. 1-8.
16. Clanet C., Villermaux E. Life of a smooth liquid sheet // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2002. – Vol. 462. – P. 307-340.
17. Sanjai P.R. Jet Impingement on a Flat Plate with Different Plate Parameters // *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*. – 2018. – Vol. 1, №6. – P. 49-51.
18. Sagot B., Antonini G., Christgen A. et al. Jet impingement heat transfer on a flat plate at a constant wall temperature. // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2008. – Vol. 4. – P. 1610-1619.
19. Becze S., Vuscan G. Comparison study between two types of nozzles for a turbocharger balancing machine using Ansys software // *Matec Web of Conferences*. – 2019. – Vol. 299. – P. 04007-1-04007-6.
20. Wang J., Liang Q., Zeng T. et al. Drift Potential Characteristics of a Flat Fan Nozzle: A Numerical and Experimental Study // *Appl. Sci*. – 2022. – Vol. 12. – P. 6092-1-6092-16.

References

1. APK-Inform // <https://www.apk-inform.com/ru/news>. 8.02.2022.
2. Nukeshev S., Eskhozhin K., Tokushev M. et al. Substantiation of the Parameters of the Central Distributor for Mineral Fertilizers // *International journal of Environmental & Science Education*. – 2016. – Vol. 11, №15. – P. 7932-7945.
3. Siebald H., Hensel O., Kaufmann H.H. et al. Spray nozzle function control using acoustics for agricultural applications // *Biosystems Engineering*. – 2020. – Vol. 197. – P. 149-155.
4. Aliverdi A., Borghei M. Spray coverage and biological efficacy of single, twin symmetrical, and twin asymmetrical flat fan nozzles // *Acta Technologica Agriculturae*. – 2021. – Vol. 24, №2. – P. 92-96.
5. Makhnenko I., Elizabeth A., Fredericks S.A. et al. A review of liquid sheet breakup: Perspectives from agricultural sprays // *Journal of Aerosol Science*. – 2021. – Vol. 157. – P. 105805.
6. Fritz B., Hoffmann C., Czaczyk Z., Bagley W et al. Measurement and classification methods using the ASAE S572.1 reference nozzles // *Journal of Plant Protection Research*. – 2012. – Vol. 52. – P. 447-457.
7. Azuma T., Hoshino T., The Radial Flow of a Thin Liquid Film: 2nd Report, Liquid Film Thickness // *Bulletin of JSME*. – 1984. – Vol. 27, №234. –P. 2747-2754.
8. Tanbayev K., Nukeshev S., Engin T. et al. Flat spray nozzle for intra-soil application of liquid mineral fertilizers // *Acta Technologica Agriculturae*. – 2023. Vol 26, №2. – P. 65-71.
9. Watson E. The radial spread of a liquid jet over a horizontal plane // *Journal of Fluid Mechanics*. – 1964. – Vol. 20, №3. – P. 481-499.
10. Wu D., Guillemin D., Marshall A.W. A modeling basis for predicting the initial sprinkler spray // *Fire Safety Journal*. – 2007. – Vol. 42. – P. 283-294.
11. Fritz B., Hoffmann C., Czaczyk Z., Bagley W et al. Measurement and classification methods using the ASAE S572.1 reference nozzles // *Journal of Plant Protection Research*. – 2012. – Vol. 52. – P. 447-457.
12. Schlichting H., Gersten K. *Boundary-Layer Equations in Plane Flow; Plate Boundary Layer* // In book: *Boundary-Layer Theory*. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2017. – P. 145-164.
13. Pazhi D.G., Galustov V.S. *Osnovy tehniki raspylivaniya zhidkostej*. – M.: Himija, 1984. – 256 s.
14. Belov I.A. *Vzaimodejstvie neravnomernyh potokov s pregradami*. – L.: Mashinostroenie, 1983. – 144 s.
15. De Cock N., Massinon M. et al. Dynamics of a thin radial liquid flow // *Fire Safety Journal*. – 2016. – Vol. 83. – P. 1-8.
16. Clanet C., Villermaux E. Life of a smooth liquid sheet // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2002. – Vol. 462. – P. 307-340.
17. Sanjai P.R. Jet Impingement on a Flat Plate with Different Plate Parameters // *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*. – 2018. – Vol. 1, №6. – P. 49-51.
18. Sagot B., Antonini G., Christgen A. et al. Jet impingement heat transfer on a flat plate at a constant wall temperature. // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2008. – Vol. 4. – P. 1610-1619.
19. Becze S., Vuscan G. Comparison study between two types of nozzles for a turbocharger balancing machine using Ansys software // *Matec Web of Conferences*. – 2019. – Vol. 299. – P. 04007-1-04007-6.
20. Wang J., Liang Q., Zeng T. et al. Drift Potential Characteristics of a Flat Fan Nozzle: A Numerical and Experimental Study // *Appl. Sci*. – 2022. – Vol. 12. – P. 6092-1-6092-16.

С.О. Нукешев¹, Х.К. Танбаев^{2}, Г.С. Есжанов², К.М. Тлеумбетов¹*

¹*«Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина»,
г. Астана. Казахстан.*

s.nukeshev@kazatu.edu.kz, k.tleumbetov@kazatu.edu.kz

²*«Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова» г. Кокшетау. Казахстан.*

khozhakeldi@shokan.edu.kz*, gesjanov@shokan.edu.kz

РАДИУС УДАРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ТОЛЩИНА ПОТОКА НА УДАРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЛОСКОГО РАСПЫЛИТЕЛЯ С ПОЛУКРУГЛОЙ ЩЕЛЬЮ

Аннотация

В работе приведены теоретические основы определения радиуса ударной поверхности и толщины потока, формирующегося на ударной поверхности плоского опрыскивателя с полукруглой щелью для внесения жидких минеральных удобрений в почву, его анализ с помощью средств вычислительной гидродинамики (CFD) и результаты экспериментов. Использование плоскоструйных форсунок, образующих полосу распыления под полостью почвы и по всей длине обрабатывающего ножа, обеспечивает высокоэффективный процесс смешивания жидких минеральных удобрений с обработанной почвой (частицами) и положительно способствует созреванию растений. Хотя опрыскиватель предназначен для внесения жидких минеральных удобрений в почву, он подходит также для поверхностного опрыскивания, использования с лапой и других промышленных целей, таких как увлажнение воздуха и предотвращение пожаров. Исходя из теоретических расчетов, радиус ударной поверхности распылителя составляет 2,5–4 мм. $D_s = 2,5$ мм считается эффективным. Выявлено, что толщина потока не зависит от высоты щели (h), но определяет его минимальное значение. Высота щели должна быть в 2–3 раза больше, чем толщины потока. Равномерное распыление происходит только в распылителе, где обеспечивается равномерная толщина потока на ударной поверхности.

Ключевые слова: плоский опрыскиватель, внутрипочвенное внесение, толщина потока, минеральные удобрения, ударная поверхность, Ansys Fluent.

S.Nukeshev¹, K.Tanbayev², G.Yeszhanov², K.Tleumbetov¹

¹*«S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», Astana. Kazakhstan.*

s.nukeshev@kazatu.edu.kz, k.tleumbetov@kazatu.edu.kz

²*«Kokshetau University named after Sh. Ualikhanov», Kokshetau. Kazakhstan.*

khozhakeldi@shokan.edu.kz*, gesjanov@shokan.edu.kz

IMPACT SURFACE RADIUS AND FLOW THICKNESS ON THE IMPACT SURFACE OF THE FLAT FAN NOZZLE WITH SEMICIRCULAR SLOT

Abstract

The paper presents the theoretical basis for determining the radius of the impact surface and the flow thickness formed on the impact surface of a flat fan sprayer with a semicircular slot for the intra-soil application of liquid mineral fertilizers, its analysis using means of computational fluid dynamics (CFD), and the results of experiments. The use of flat fan nozzles that form a spray band under the soil cavity and along the entire length of the tillage knife provides a highly efficient mixing process of liquid fertilizers with the treated soil (particles) and positively promotes plant maturation. Although the sprayer is designed to apply liquid mineral fertilizer into the soil, it is suitable for surface spraying, as well as for use with a point plow and other industrial purposes such as air humidification and fire prevention. Based on theoretical calculations, the applicable radius of the impact surface of the

sprayer are in range of 2.5–4 mm. The effective radius is $D_s = 2.5$ mm. It was found that the flow thickness does not depend on the slot height (h), however it determines minimum value of h . It is recommended that the slot height be 2-3 times the flow thickness. A uniform atomization occurs only if a uniform flow thickness is ensured on the impact surface.

Keywords: flat sprayer, intra-soil application, flow thickness, mineral fertilizers, impact surface, Ansys Fluent.

МРНТИ 70.27.15

DOI <https://doi.org/10.37884/2-2024/53>

*А.С. Бердишев¹, А.Е. Байболов*², З.З. Джумабаева¹, Ж.А. Шымыр³, Г.А. Ахметканова²*

¹ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
Национального исследовательского университета, г.Ташкент, Узбекистан,
berdyshev66@bk.ru, zulfizarxonzulfizarxon@gmail.com

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г.Алматы, Казахстан,
asan.baibolov@kaznaru.edu.kz, gulnar.akhmetkanova@kaznaru.edu.kz

³Международный Таразский инновационный институт имени Шерхана Муртазы, г.Тараз,
Казахстан, shymyr.zhalel@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ, НЕЙТРАЛИЗУЮЩЕЙ ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Аннотация

Данная научная статья посвящена обеспечению чистой питьевой водой сельскохозяйственных объектов и населения, и направлена на предложение оптимального научно-технического решения. Предлагается автономная система водоснабжения, использующая солнечную энергию, очищающую и обеззараживающую воду ультрафиолетовыми лучами. Для нейтрализации подземных вод создан специальный автономный ультрафиолетовый облучатель. Его основными элементами являются электромагнитный очиститель, ультрафиолетовая лампа и паяльная панель. Для эффективного использования солнечной энергии были протестированы 3 различных режима солнечной панели в зависимости от азимута солнца и угла его положения относительно горизонта. При этом было подтверждено, что наибольшая мощность получается в этом азимутальном направлении. Для подбора оптимальной дозы ультрафиолетового облучения воду активировали колифагом МС-2 – одним из наиболее устойчивых к дезинфекции микроорганизмов. В ходе эксперимента мелодии были идентифицированы. Минимальная доза 100% нейтрализации воды от первичной обработки взвешенных частиц электромагнитным очистителем составляет 111 МВт*с/см². Доза УФ-обеззараживания сырой воды составляет 135 МВт*с/см². После внедрения модельного устройства УФ-обеззараживания последующие периодические исследования проб воды подтвердили эффективность и надежность этой автономной системы очистки подземных вод.

Ключевые слова: Питьевая вода, автономная система водоснабжения, артезианский колодец, грунтовые воды, ультрафиолетовое излучение, очистка воды, дезинфекция.

Введение

Невыгодная ситуация сложилась в сельской местности, где только треть сельского населения имеет доступ к безопасным системам централизованного водоснабжения и строительство новых экономически нецелесообразно. В связи с этим обеспечение