

Хөрс боловсруултын чанарт, угсрааны ажлын хурд нөлөөлөх байдлыг тогтоох хээрийн туршилтын дүн

Долгорын Даваадорж*^{ORCID}, Доржсүрэнгийн Баатархүү

Инженер, технологийн сургууль, ХААИС, Зайсан 17024, Улаанбаатар

*Холбоо баригч зохиогч: doldavaadorj@mul.s.edu.mn

^{ORCID} <https://orcid.org/0000-0002-7665-214X>

Хүлээн авсан: 01.10.2021

Хянасан: 08.12.2021

Хэвлэлтэд орсон: 31.12.2021

Хураангуй

Кубота М9000+КПЭ-3.8А угсраагаар хөрсийг сийрүүлэх үед машин тракторын угсраа (МТУ)-ны хөдөлгөөний хурдаас хамаарч хөрсний бутралтын чанар хэрхэн өөрчлөгдөхийг судлах талбайн туршилт явуулж, хэмжилтийн өгөгдлөөр математик загвар гаргах, шинжилгээ хийх зорилго тавив. Угсрааны ажлын хурдны өөрчлөгдөх утга бүр дээр хийсэн туршилт тутамд хэмжсэн хөрсний бутралтын төвшний статистик тоон утгуудыг шинжлэхэд хэт ялгаатай хэмжигдэхүүн байгаагүй бөгөөд тэдгээр нь хэвийн тархалтын хуульд захирагдаж байв. Математик статистикийн тооцооллоос үзэхэд бидний туршилтад энгийн шугаман загвар тохирохгүй байгаа тул шугаман бус загварыг сонгосон. Загварыг шугаман хэлбэрт шилжүүлсний дараа регрессийн коэффициентүүдийг тодорхойллоо. Туршилтаар хэмжиж авсан тоон өгөгдлийг боловсруулж угсрааны ажлын хурд, бутралтын зэргийн хамаарлыг тогтоох, хөрсний бутралтын зэргийн дундаж утгын итгэмжлэх завсрыг тодорхойлох статистик шинжилгээ хийв.

Түлхүүр үг: хүчин зүйл, үзүүлэлт, хазайлт, хамаарал, тэгшитгэл, загвар, өөрчлөгдөх хүрээ

Оршил

Манай орны газар тариаланд 600 гаруй КПЭ-3.6А сийрүүлүүр ашиглагдаж байна. Тариалангийн талбайн хөрсийг механик бүрэлдэхүүнээр нь авч үзвэл 51% нь хөнгөн шавранцар бүтэцтэй болохыг С.Ганбаатар, Г.Даваадорж, Б.Дорж нар тогтоосон [4]. КПЭ-3.6А сийрүүлүүр хөрсийг сайн зүсч бутлах, хог ургамлыг эрчимтэй устгах хийц бүхий суман хошуутай тул түүнийг хөрс боловсруулалтад өргөн хэрэглэж байна. Судлаачид хөрс боловсруулалтаас үр тарианы ургац 25% шалтгаална [5] гэж тогтоосон бөгөөд хөрсийг өнгөц хавж сийрүүлэх үед угсрааны хөдөлгөөний хурдыг 2.5...4.2 м/с (9...15 км/ц) хязгаарын дотор байлгахыг зөвлөдөг.

Оросын эрдэмтэн Н.И.Кленин, В.А.Сакун зэрэг судлаачид тарилтын өмнөх сийрүүлэлтийн үед талбайн хөрсний бутралтын чанар, хог ургамлын усталтын хэмжээг МТУ-ны хурдаас хамааруулан судлахдаа хөрсний бүтэц, чийгшил, сийрүүлэгч хошууны хийцийн параметр, тохируулга зэргийг тооцон үзэж, олон хүчин зүйлт туршилт явуулсан байдаг [1]. Суман хошуут багажаар хөрс

сийрүүлэх үед бутралтын чанар нь дурдсан хүчин зүйлсээс гадна угсрааны хурдаас ихээхэн хамаардаг. Тухайлбал, талбайн хөрс 16...19 хувийн чийгшилтэй үед угсрааны хурдаас хамаарч бутралтын зэргийн утга 35...70%-ийн хооронд өөрчлөгдөж буйг судлаачид тогтоосон байдаг боловч практикт 70...80 хувьд хүрэх тохиолдол бий [4].

Хөрс сийрүүлэх үеийн хөрсний бутралтын чанарт үнэлгээ өгөхийн тулд бусад хүчин зүйлийн тогтмол утга дээр харин угсрааны ажлын хурдыг 5 утгаар өөрчлөх замаар нэг хүчин зүйлт туршилт явуулж, математик загвар гарган авах зорилго тавив. Туршилтын үр дүнг боловсруулснаар нөлөөлөгч хүчин зүйл, параметрийн хамаарлын математик загварын $Y=f(X)$ графикийг байгуулдаг. Хэрэв тухайн туршилтад шугаман загвар тохирохгүй, график гадаад хэлбэрээрээ шугаман загварт нийцэхгүй байвал шугаман бус загвар сонгох шаардлагатай [3]. Үйлдвэрлэлийн янз бүрийн технологи ажиллагааны нилээд нь шугаман бус функцээр илэрхийлэгддэг.

Шугаман бус тэгшитгэлийн коэффициентүүдийг тодорхойлох аргачлал байдаггүй [6] тул түүнийг шугаман хэлбэрт заавал шилжүүлснээр тэгшитгэлийн коэффициентүүдийг хялбар тодорхойлно. Ямар нэгэн технологийн процесст нөлөөлөх хүчин зүйлийн хамаарлыг зэрэгт, илтгэгч, гипербол, логарифм зэрэг функцүүдээр тодорхойлох зургаан шугаман биш загвар

Материал, арга зүй

Туршилтаар гаргасан өгөгдөл-хэмжилтийн тоон цуваа дотор хэт ялгаатай утгууд байгаа эсэх, гарах үзүүлэлтийн тоон утгууд хэвийн тархалтын хуульд захирагдаж буй эсэх, дисперсүүдийн нэгэн төрлийн байх эсэхийг тус тус шалгана. Статистик үзүүлэлтүүдийн дундаж дисперсийг $\sigma_{\text{дун}}^2\{Y\} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2\{Y\}}{N}$ томъёогоор тодорхойлно. Үл хамааран хувьсах хэмжигдэхүүний (орох хүчин зүйл-нөлөөлөгч), хамааран хувьсах хэмжигдэхүүнд (гарах үзүүлэлт-параметр-үр

хамгийн түгээмэл байдаг бөгөөд тэдгээрийг шугаман хэлбэрт хувиргахад лавлах хүснэгтийг ашигладаг [2]. Өөрөөр хэлбэл, туршилтын өгөгдлийн $X_1, Y_1; X_2, Y_2; \dots; X_u, Y_u; X_{u+1}, Y_{u+1}; X_N, Y_N$ утгуудын хамаарлыг илэрхийлэхэд тохирох загварыг хүснэгтэд үзүүлсэн зургаан шугаман бус функцээс (1-р хүснэгт) сонгоно.

дүн) нөлөөлөх байдлыг харуулах регрессийн тэгшитгэлийн төрлийг сонгохын өмнө туршилтын өгөгдлүүдийг ашиглан $Y=f(x)$ графикийг масштабаар байгуулж онолын графикуудтай харьцуулан, хялбар шугаман тэгшитгэл хэрэглэж болох эсэхийг тогтооно. Туршилтад тохирох шугаман биш загварыг сонгохын тулд орох хүчин зүйл X_u , гарах үзүүлэлт Y_u -ийн завсрын X_{za}, Y_{za} утгуудыг лавлах хүснэгтэд өгсөн томъёогоор загвар бүрт тодорхойлно (1-р хүснэгт).

Table 1

Formulas for determining the intermediate values of quantities and converting to linear equations

№	Загварын төрөл, хувьсагчийн функц	X_L болон параметр Y_L хэм жигдэхүүнийг өөрчлөх хэлбэр	Өөрчилсний дараах шугаман тэгшитгэлийн хэлбэр	Хувьсагч, параметрийн завсрын цэгүүдийн утга	
				X_{za}	Y_{za}
A	1	2	3	4	5
1	Зэрэгт $Y = a_0 X^{a_1}$	$Y_L = LgY; X_L = LgX$ $a_{0L} = Lg a_0$	$Y_L = a_{0L} + a_1 X_L$	$\sqrt{X_1 X_N}$	$\sqrt{Y_1 Y_N}$
2	Илтгэгч $Y = a_0 a_1^x$	$Y_L = LgY; a_{0L} = Lg a_0$ $a_{0L} = Lg a_1$	$Y_L = a_{0L} + a_{1L} X_L$	$\frac{X_1 + X_N}{2}$	$\sqrt{Y_1 Y_N}$
3	Гипербол $Y = a_0 + \frac{a_1}{X}$	$X_L = \frac{1}{X}$	$Y_L = a_0 + a_1 X_L$	$\frac{2X_1 X_N}{X_1 + X_N}$	$\frac{Y_1 + Y_N}{2}$
4	Гипербол $Y = \frac{1}{a_0 + a_1 X}$	$Y_L = \frac{1}{Y}$	$Y_L = a_0 + a_1 X_L$	$\frac{X_1 + X_N}{2}$	$\frac{2Y_1 Y_N}{Y_1 + Y_N}$
5	Гипербол $Y = \frac{1}{a_0 + a_1/X}$	$Y_L = \frac{1}{Y}$ $X_L = \frac{1}{X}$	$Y_L = a_0 + a_1 X_L$	$\frac{2X_1 X_N}{X_1 + X_N}$	$\frac{2Y_1 Y_N}{Y_1 + Y_N}$
6	Логарифм $Y = a_0 + a_1 LgX$	$X_L = LgX$	$Y_L = a_0 + a_1 X_L$	$\sqrt{X_1 X_N}$	$\frac{Y_1 + Y_N}{2}$

Туршилтын өгөгдлүүдийн дундаж утгаар байгуулсан графикийн шугамд, онолын шугаман бус загваруудын завсрын утгаар олсон одтой цэгүүдээс аль ойр байгааг харгалзан шугаман бус загварыг сонгоно. Шугаман бус загварын a_0, a_1 коэффициентүүдийг тодорхойлохын тулд энэхүү загварыг шугаман болгож хувиргах шаардлагатай. Туршилтын өгөгдлүүдээр график

байгуулахад түүнд тохирох хамгийн энгийн, тооцоонд зохистой шугаман тэгшитгэлийн загвар хэрэглэж болох боломжийг хайх ёстой. Коэффициентүүдийг тодорхойлох тэгшитгэлийн системд, хувьсах хэмжигдэхүүнүүдийн утгыг тавьж, шугаман хэлбэрт шилжүүлсэн тэгшитгэлийн коэффициентүүдийг дунджийн аргаар тодорхойлно.

$$a_1 \sum_I X_u + a_0 \cdot K = \sum_I \bar{Y}_u \tag{1}$$

$$a_1 \sum_{II} X_u + a_0 \cdot K = \sum_{II} \bar{Y}_u \tag{2}$$

Энд: a_1, a_0 – тодорхойлох гэж буй коэффициентүүд; X_u - орох хүчин зүйлийн утга;

\bar{Y}_u – гарах үзүүлэлтийн утга; K - нэг хэсэгт нэмэгдэх хүчин зүйл, үзүүлэлтийн тоо

Математик загварын тохирох эсэхийг Фишерийн шалгуураар ($F_T < F_X$) шалгана. Коэффициентүүдийн утгыг тодорхойлохдоо маш бага утгатай гээд шууд хаяж болохгүй, заавал шалгах бөгөөд тэдгээрийг Стьюдентийн шалгуураар (хэрэв $t_T > t_X$) шалгадаг.

нөлөөлөх хүчин зүйлийн X утга бүрийн дунджийг тодорхойлох үеийн дундаж квадрат хазайлтын үнэлгээ юм. Нөлөөлөх хүчин зүйлийн X_u утга бүрд тодорхойлсон $\sigma_m\{Y_{Tu}\}$ -ын их утгыг тусгай хүснэгтэд бичнэ. Туршилтын өгөгдлийг боловсруулах тооцоолол нь гарах үзүүлэлт, орох хүчин зүйлийн хамаарал, гарах үзүүлэлтийн дундаж утгын итгэмжлэх завсрыг тодорхойлж, өөрчлөгдөх хүрээний графикийг тодорхой масштабаар байгуулах үйлдлээр төгсөнө.

Гарч буй үзүүлэлтийн дундаж утгын итгэмжлэх завсрыг тодорхойлохын тулд түүний дундаж утга тодорхойлох үеийн байж болох алдааг $E_m\{Y_{Tu}\} = \sigma_m\{Y_{Tu}\} \cdot t_x$ гэж олно. Энд, $\sigma_m\{Y_{Tu}\}$ –

Судалгааны үр дүн

Сэлэнгэ аймгийн “Сэлэнгэ тариа” компанийн хөнгөн шавранцар, хүрэн хөрстэй талбайд, хөрсний чийг 18% байх үед 410 мм өргөнтэй суман хошуунууд бүхий сийрүүлүүр угсарсан Кубота M9000+КПЭ-3.8А угсраагаар хөрсийг 12 см гүнд сийрүүлэх туршилт явуулав. Угсрааны хөдөлгөөний хурдаас хамаарч хөрсний бутралт хэрхэн өөрчлөгдөхийг тогтоох туршилтын үр дүнг математик статистикийн аргаар боловсруулав. Бидний туршилтад, технологи ажиллагааны нөлөөлөх хүчин зүйл нь угсрааны ажлын хурд v (м/с) буюу X , гарах параметр нь хөрсний бутралтын зэрэг K_σ (%) буюу Y болно. Хөрс сийрүүлэх ажлын чанарын гол үзүүлэлт бол хөрсний бутралтын зэрэг байдаг. Хөрсний бутралтын зэрэг гэдэг нь дээж болгон авсан бутарсан хөрсний 25 мм-ээс бага хэмжээстэй бүхэллэг хэсгийн жинг дээжний жинд харьцуулж, хувиар илэрхийлсэн үзүүлэлт ($K_{\sigma y} = \frac{M_{\sigma y}}{M} \cdot 100$ %) юм. Угсрааны хурдыг $N=5$ утгаар

өөрчилж, утга тус бүрд $u=5$ давталттай туршилтаар тоон өгөгдлийг гарган авч, статистик үзүүлэлтүүдийг тодорхойллоо.

МТУ-ны хурдаас хамаарах хөрсний бутралтын зэргийн статистик үзүүлэлтүүдийг тодорхойлох, хамаарлын математик загварыг гарган авах, түүнийг үнэлэх, шалгах тооцоог хийе.

1. Угсрааны хурдны $X_u=2.0, 2.4, 2.8, 3.2, 3.6$ м/с өөрчлөгдөх утга бүрд туршилтын $u=1, 2, 3, 4, 5$ давталтуудад хурдны хөрсний бутралтын зэргийн статистик үзүүлэлтүүдийг тус тус тодорхойлж 2-р хүснэгтэд харуулав. Тухайлбал 1-р туршилтын 1-р давталт $u=1$ үед ажлын хурд $X_u=X_{I=2}$ м/с байхад хөрсний бутралтын зэргийн дундаж утга $\bar{Y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^u Y_i}{u} = 18\%$, дисперс $\sigma_{1(Y)}^2 = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y}_1)^2}{u-1} = 0.500$, дундаж квадрат хазайлт $\sigma_{1(Y)} = \sqrt{\sigma_{1(Y)}^2} = 0.707$ байв.

Table 2

Results of one-factor test

X_u		Y_{uv}		Туршилтын давталт, m					$\sum_{i=1}^m Y_{uv}$	\bar{Y}_u	$\sigma_u^2(y)$	$\sigma_u(y)$	Y_{Rumax}	Y_{Rumin}	Y_{xu}
		Y	u	1	2	3	4	5							
Хүчин зүйлийн	2.0	1	18	19	18	18	17	90	18	0.500	0.707	1.58	1.58	1.869	
	2.4	2	24	24	25	23	24	120	24	0.500	0.707	1.58	1.58	1.869	
	2.8	3	32	34	31	31	32	160	32	1.500	1.225	0.87	0.91	1.869	
	3.2	4	45	47	44	45	45	226	45.2	1.225	1.500	1.34	0.90	1.869	
	3.6	5	60	59	59	61	61	300	60	1.000	1.000	1.12	1.12	1.869	

2. Бутралтын зэргийн өөрчлөгдөх утгуудад, статистик үзүүлэлтүүд тус бүр хоорондоо хэт ялгаатай байгаа эсэхийг Смирнов-Граббсын Y_x шалгуураар шалгав. Тухайлбал, $u=1$ туршилтын хувьд:

$$Y_{Tu(Y \max u)} = \frac{Y_{uv \max} - \bar{Y}_u}{\sigma_u(Y)}$$

$$\sqrt{\frac{m}{m-1}} = 1.58, \text{ бага утга: } Y_{Tu(Y \min u)} = \frac{\bar{Y}_u - Y_{uv \min}}{\sigma_u(Y)}$$

$\sqrt{\frac{m}{m-1}} = 1.58$ байна. Шалгуурын хүснэгтийн утгыг хавсралтаас харахад хурд $X_u=2.0$ м/с үед $Y_x[P_D=0.95; m=5]=1.869$ тул $Y_{Tu(Y \max u)}=1.58 < Y_x=1.869$ учраас хэт ялгарах үзүүлэлт алга байна. Энэ тооцоог хурдны утга тус бүрд нь хийж шалгав.

3. Хөрсний бутралтын зэргийн өөрчлөлтийн утгууд хэвийн тархалтын хуульд захирагдаж буй эсэхийг хурдны утга бүр дээр Шапиро-Уилкагийн W_x шалгуураар үнэлэхэд $m=5$ сондгой

учир $K=2$ бөгөөд q коэффициентийн утга хавсралтаас $q_1=0.6646, q_2=0.2413$ гэж олдлоо. Угсрааны хурдны $m=5$ давталттай $u=5$ туршилт бүрд хөрсний бутралтын зэргийн утгуудын тохирох эсэхийг шалгав. Тухайлбал 1-р туршилтын хувьд гарах үзүүлэлтүүдийн утгыг өсөх дарааллаар нь $Y_1 < Y_2 \leq \dots \leq Y_m$ тэнцэтгэл биш ёсоор $17 < 18 = 18 = 18 < 19$ гэж илэрхийлье. Тэгвэл $Q=0.6646(19-17)+0.2413(18-18)=1.3292$ болно.

W_T шалгуурын тооцооны утга $W_T = \frac{Q^2}{\sigma_u^2(Y)} = 3.5335$ гарав. W_x шалгуурын хүснэгтийн утгыг хавсралтаас олоход $W_x[P_U=0.95; m=5]=0.762$ байна. Иймд $W_T=3.5335 > W_x=0.762$ нөхцөл биелж буй тул 1-р туршилтын үеийн хөрсний бутралтын зэргийн тоон утгууд хэвийн тархалтын хуульд захирагдаж байна. Ийнхүү угсрааны хурдны утгуудад дээрхийн адил тооцоог хийж шалгуурын тооцооны болон хүснэгтийн утгуудыг 3-р хүснэгтэд үзүүлээ.

Table 3

Values of Shapiro-Wilka calculation and table

X_u		Y_{uv}		Туршилтын давталт, m					$\sigma_u^2(Y)$	Q	W_T	W_x
		Y	u	1	2	3	4	5				
Хүчин зүйлийн	2.0	1	18	19	18	18	17	0.500	1.3292	3.5335	0.762	
	2.4	2	24	24	25	23	24	0.500	1.3292	3.5335	0.762	
	2.8	3	32	34	31	31	32	1.500	2.2351	3.3304	0.762	
	3.2	4	45	47	44	45	45	1.225	2.2351	4.0780	0.762	
	3.6	5	60	59	59	61	61	1.000	1.5705	2.4664	0.762	

4. Хөрсний бутралтын зэргийн тоон утгын дисперсүүд нэгэн төрлийн байх таамаглалыг угсрааны хурдны утга бүрд туршилтын давталтын тоо ижил учир Кохнерийн шалгуурын шалгахад тооцооны утга $G_T = \frac{\sigma_{u \max}^2(Y)}{\sum \sigma_u^2(Y)} = 0.32$ байна.

G_x шалгуурын хүснэгтийн утгыг хавсралтаас олоход $G_x[P_U=0.95; N=5, \text{чөлөөний зэргийн тоо } f=m-1=4]=0.544$. Иймд $G_T=0.32 < G_x=0.544$ нөхцөл биелж дисперсүүд буюу өгөгдөл нэгэн төрлийн байна.

5. Хөрсний бутралтын зэргийн дундаж дисперс $\sigma_{\text{дун}}^2\{Y\} = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_u^2\{Y\}}{N} = 0.945$ байна. Энэ нь бутралтын зэрэг дундаж утгаасаа хоёр тийш 0.945 хэмжээс бүхий тархалттай гэсэн үг юм. Угсрааны ажлын хурдны, хөрсний бутралтын зэрэгт нөлөөлөх байдлыг илэрхийлэх регрессийн тэгшитгэлийн тохирох хэлбэрийг сонгоё. Тохирох тэгшитгэл сонгохын өмнө өгөгдлүүдийг ашиглан $Y=f(x)$ хамаарлын графикийг (1-р зураг) масштабаар байгуулж, түүнийг хамаарлуудын байж болох графикуудын хэлбэртэй харьцуулан жишиж үзсэн болно.

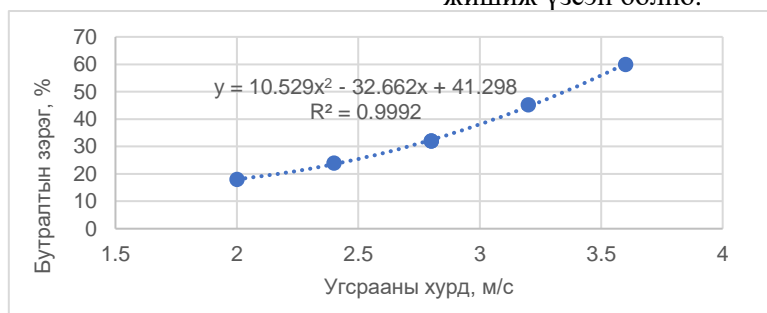


Figure 1. Graphic of the relationship between the degree of soil crumbling and the working speed of machine tractor assembly. (mean values of the experimental data)

Туршилтын өгөгдлийн дундаж утгуудаар байгуулсан графикийг харахад угсрааны хурд, хөрсний бутралтын зэргийн хамаарал нь шугаман бус тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэх байна. Гэхдээ энгийн шугаман тэгшитгэлийн загварыг дээрх туршилтанд хэрэглэж болох эсэхийг заавал

шалгах шаардлагатай учраас 1-р эрэмбийн хуваагдахгүй ялгаврын аргыг ($\Delta_H^* < 2\sigma_{\text{дунд}}\{Y\}$ нөхцөл биелвэл шугаман загварыг ашиглана.) хэрэглэн шалгав. Угсрааны хурд өөрчлөгдөх утга бүрд харгалзах хөрсний бутралтын зэргийн дундаж утгыг тусад нь 4-р хүснэгтэд үзүүлэв.

Table 4

Mean values of the degree of soil crumbling

X_u	$X_1 = 2.0$	$X_2 = 2.4$	$X_3 = 2.8$	$X_4 = 3.2$	$X_5 = 3.6$
\bar{Y}_u	$\bar{Y}_1 = 18$	$\bar{Y}_2 = 24$	$\bar{Y}_3 = 32$	$\bar{Y}_4 = 45.2$	$\bar{Y}_5 = 60$

Эндээс, хөрсний бутралтын зэргийн утгын ялгаврыг тооцвол:

$$\Delta'_{H1} = \bar{Y}_2 - \bar{Y}_1 = 6, \Delta'_{H2} = \bar{Y}_3 - \bar{Y}_2 = 8, \Delta'_{H3} = \bar{Y}_4 - \bar{Y}_3 = 13.2, \Delta'_{H4} = \bar{Y}_5 - \bar{Y}_4 = 14.8$$

$$\Delta_H^* = |\Delta'_{H \max} - \Delta'_{H \min}| = 8.8, \sigma_{\text{дун}}^2\{Y\} = 0.945, \sigma_{\text{дун}}\{Y\} = 0.972$$

$\Delta_H^* = 8.8 > 2 \cdot \sigma_{\text{дун}}\{Y\} = 2 \cdot 0.972 = 1.944$ учир шугаман загвар тохирохгүй байна. Нэгэнт шугаман загварын нөхцөл биелээгүй, график нь

гадаад хэлбэрээрээ шугаман биш тул 1-р хүснэгтээс тохирох загварыг сонгох шаардлагатай.

7. Тохирох шугаман биш загварыг сонгохын тулд угсрааны хурд X_u , хөрсний бутралтын зэрэг Y_u -ийн завсрын X_{za}, Y_{za} утгуудыг тодорхойлъё. 1-р хүснэгт дэх томъёогоор X_{za}, Y_{za} утгуудыг олж 5-р хүснэгтэд бичив. 4-р хүснэгтээс харвал $X_I=2$ үед $Y_I=18, X_N=3.6$ үед $Y_N=60$ байна.

Table 5

Formulas for determining the intermediate values the degree of soil crumbling and the working speed of machine tractor assembly

№	Загварын төрөл хэлбэр, хувьсагчийн функц	Завсрын утга	
		X_{za}	Y_{za}
1	Зэрэгт $Y = a_0 X^{a_1}$	$\sqrt{X_1 X_N} = \sqrt{2 \cdot 3.6} = 2.68$	$\sqrt{Y_1 Y_N} = \sqrt{18 \cdot 60} = 32.86$
2	Илэрхийлэл $Y = a_0 a_1^x$	$\frac{X_1 + X_N}{2} = \frac{2 + 3.6}{2} = 2.8$	$\sqrt{Y_1 Y_N} = \sqrt{18 \cdot 60} = 32.86$
3	Гипербол $Y = a_0 + \frac{a_1}{X}$	$\frac{2X_1 X_N}{X_1 + X_N} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3.6}{2 + 3.6} = 2.57$	$\frac{Y_1 + Y_N}{2} = \frac{18 + 60}{2} = 39$
4	Гипербол $Y = \frac{1}{a_0 + a_1 X}$	$\frac{X_1 + X_N}{2} = \frac{2 + 3.6}{2} = 2.8$	$\frac{2Y_1 Y_N}{Y_1 + Y_N} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 60}{18 + 60} = 25.71$
5	Гипербол $Y = \frac{1}{a_0 + a_1/X}$	$\frac{2X_1 X_N}{X_1 + X_N} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3.6}{2 + 3.6} = 2.57$	$\frac{2Y_1 Y_N}{Y_1 + Y_N} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 60}{18 + 60} = 25.71$
6	Логарифм $Y = a_0 + a_1 \lg X$	$\sqrt{X_1 X_N} = \sqrt{2 \cdot 3.6} = 2.68$	$\frac{Y_1 + Y_N}{2} = \frac{18 + 60}{2} = 39$

Туршилтын өгөгдлийн дундаж утгуудаар байгуулсан график дээр загваруудын завсрын

утгуудыг илэрхийлэх цэгүүдийг байрлуулан одоор тэмдэглэе (2-р зураг).

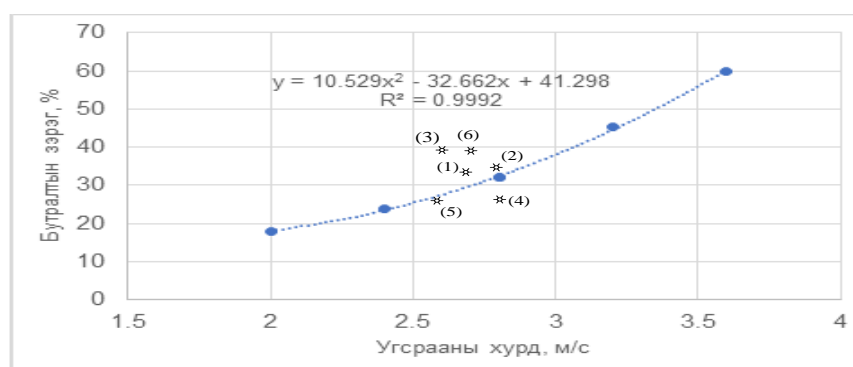


Figure 2. Position dots to select the model type on the chart

Зургаас харахад 5-р хүснэгт дэх 4-р загварын завсрын утгаар олсон одтой цэг графикт ойр байгаа тул тэрхүү гипербол загварыг сонгов.

8. Шугаман бус загварын коэффициентүүдийг тодорхойлох аргачлал байхгүй тул сонгосон шугаман бус загварыг шугаман загвар болгон хувиргасны дараа коэффициентүүдийг олов.

Лавлах хүснэгтэд үзүүлсний дагуу $Y = \frac{1}{a_0 + a_1 X}$

Иймд хөрсний бутралтын зэрэг, угсрааны хөдөлгөөний хурдны хамаарал $Y = \frac{1}{a_0 + a_1 X}$

шугаман бус загвараар илэрхийлэгдлээ.

загварыг хувиргасны дараах шугаман хэлбэр нь

$$Y_L = a_0 + a_1 X; \quad Y_L = \frac{1}{Y} \text{ гэж бичигдэнэ.}$$

Шугаман хэлбэрт шилжүүлсэн тэгшитгэлийн коэффициентүүдийг дунджийн аргаар олохын тулд эхлээд системт тэгшитгэлийг зохиож, холбогдох утгуудыг тодорхойлж 6-р хүснэгтэд үзүүлэв.

Table 6

		a_0, a_1 coefficients					
Нийлбэр	u	X_u	$Y_L = 1/Y_u$	\bar{Y}_u	Y_{Ru}	$\bar{Y}_u - Y_{Ru}$	$(\bar{Y}_u - Y_{Ru})^2$
$\sum_I ; \sum_{II}$	1	2.0	0.055	18.0	19.2	-1.2	-1.44
	2	2.4	0.042	24.0	23.8	0.2	0.04
	3	2.8	0.031	32.0	30.3	1.7	2.89
	4	2.8	0.031	32.0	30.3	1.7	2.89
	5	3.2	0.022	45.2	43.48	1.7	2.89
	6	3.6	0.017	60.0	71.4	-11.4	-130
\sum							-122.7

Бидний жишээнд нөлөөлөх хүчин зүйл-Бидний туршилтанд, нөлөөлөх хүчин зүйл-угсрааны хурдны утгын өөрчлөгдөх тоо $m=5$ учир нэг хэсэгт нэмэгдэх угсрааны хурд X_u , бутралтын

$$a_1 \sum X_u + a_0 \cdot K = \sum \bar{Y}_L$$

$$a_1 \sum_{II} X_u + a_0 \cdot K = \sum_{II} \bar{Y}_L$$

$$a_1 \cdot 7.2 + a_0 \cdot 3 = 0.128$$

$$a_1 \cdot 9.6 + a_0 \cdot 3 = 0.070$$

$$a_1 \cdot -2.4 = 0.058 \quad a_1 = \frac{0.058}{-2.4} = -0.024, \quad a_0 = \frac{0.128 - (-0.024) \cdot 7.2}{3} = 0.10$$

Эндээс бидний сонгосон гиперболын тэгшитгэл: $Y_R = \frac{1}{0.1 + (-0.024)X}$

Тэгшитгэлд угсрааны хурдны X_u утгыг оруулан тавьж, хөрсний бутралтын зэргийн Y_{Ru} утга, $\bar{Y}_u - Y_{Ru}$, $(\bar{Y}_u - Y_{Ru})^2$ -ийн утгуудыг тус тус олж 6-р хүснэгтэд бичлээ. Тухайлбал, $X_1=2.0$ үед: $Y_{R1} = \frac{1}{0.1 + (-0.024)X_1} = 19.2$. Үүний адилаар тооцоог хурдны утга бүрд хийв.

10. Загварын коэффициентүүдийн утгыг тодорхойлж, Стьюдентийн шалгуураар шалгав. Туршилтын үр дүнгийн чөлөөт дисперс (шугаман хамаарлын үед), a_0 , a_1 коэффициентүүдийн дисперс, дундаж квадрат хазайлтуудыг тус тус олъё:

зэрэг Y_u -ийн тоо $k = \frac{m+1}{2} = 3$ байна. Зохиосон шугаман системт тэгшитгэлийн томъёонд өгөгдлүүдийг оруулж коэффициентүүдийг олбол:

9. Угсрааны хурд, хөрсний бутралтын зэргийн хамаарлыг илэрхийлэх математик загварыг Фишерийн шалгуураар шалгахдаа тооцооны утгыг дараах байдлаар тодорхойлов.

$$F_T = \frac{\sigma_{\text{төс}\{Y\}}^2}{\sigma_{\text{дунд}\{Y\}}^2} = -324.5$$

$$\text{Энд: } \sigma_{\text{төс}\{Y\}}^2 = \frac{m}{N - N_k} \sum_{i=1}^m (\bar{Y}_u - Y_{Ru})^2 = -306.7.$$

Энэ нь төсөөтэй байдлын дисперс юм.

Фишерийн шалгуурын хүснэгтийн утгыг хавсралтаас олбол,

$F_x[P_D = 0.95, f_2 = N - 2 = 3, f_1 = (m - 1)N = (5 - 1)5 = 20] = 3.10$ гарч байгаа нь $F_T = -324.7 < F_x = 3.10$ тул гаргаж авсан математик загвар угсрааны хурд, хөрсний бутралтын зэргийн хамаарлыг илэрхийлэхэд тохирч байна.

$$\sigma^2\{Y\} = \frac{\sigma_{\text{төс}\{Y\}}^2 \cdot f_1 + \sigma_{\text{дунд}\{Y\}}^2 \cdot f_2}{f_1 + f_2} = -266.6, \quad \sigma^2\{a_0\} =$$

$$\frac{\sigma^2\{Y\}}{m \cdot N} = -10.7, \quad \sigma\{a_0\} = \sqrt{\sigma_{(a_0)}^2} = -3.27$$

$$\sigma^2\{a_1\} = \frac{\sigma^2\{Y\}}{m \cdot \sum_{u=1}^N (X_u - \bar{X})^2} = -33.3$$

Угсрааны хөдөлгөөний хурдны дундаж утга $\bar{X} = 2.8$ м/с юм. $\sigma\{a_1\} = \sqrt{\sigma^2\{a_1\}} = -5.77$
 Стьюдентийн шалгуурын тооцооны болон хүснэгтийн утгыг олъё.

$$t_{T(a_0)} = \frac{|d_i|}{\sigma(d_i)} = \frac{|a_0|}{\sigma(a_0)} = -0.03, \quad t_{T(a_1)} = \frac{|d_i|}{\sigma(d_i)} = \frac{|a_1|}{\sigma(a_1)} = -0.004$$

Хүснэгтийн утгыг хавсралтаас $t_x [P_D = 0.95, f = f_1 + f_2 = 23] = 2.8$ гэж тодорхойлов. Хэрэв $t_T > t_x$

нөхцөл биелж байвал коэффициентүүдийн утгыг авдаг тул $t_{T(a_0)} = 0.03 < t_x = 2.8, \quad t_{T(a_1)} = 0.004 < t_x = 2.8$

байгаа учраас уг хоёр коэффициентийн утгыг авахгүй орхив. Тэгвэл хөрсний бутралтын зэрэг, угсрааны хурдны хамаарлын тэгшитгэл $Y_R = \frac{1}{X}$ хэлбэртэй боллоо.

11. Хөрсний бутралтын зэргийн дундаж утгын итгэмжлэх завсрыг тодорхойлж, өөрчлөгдөх хүрээний графикийг байгуулав. Бутралтын зэргийн дундаж утга тодорхойлох үеийн байж болох алдааг $E_m\{Y_{Tu}\} = \sigma_m\{Y_{Tu}\} \cdot t_x$ гэж оллоо. Угсрааны хурдны X_u утга бүрийн дунджийг

тодорхойлох үед хөрсний бутралтын зэргийн дундаж квадрат хазайлтын үнэлгээний их утгыг $\sigma_m\{Y_{Tu}\} = \sqrt{\sigma_{(a_0)}^2 + \sigma_{(a_1)}^2} \cdot (X_u - \bar{X})^2$ томъёогоор тус тус олж 7-р хүснэгтэд үзүүлэв.

Table 7

The value of the variable range of the degree of soil crumbling

n	X_u	$(X_u - \bar{X})^2$	$\sigma_m\{Y_{Tu}\}$	$E_m\{Y_{Tu}\} = \sigma_m\{Y_{Tu}\} \cdot t_x$	$Y(x) = Y_{Ru} \pm E_m(Y)$
1	2	-0.64	-5.708	-15.98	23.8 ± 15.98
2	2.4	-0.16	-5.587	-15.64	30.3 ± 15.64
3	2.8	0	-3.271	-9.16	30.3 ± 9.16
4	3.2	0.16	-5.587	-15.64	43.48 ± 15.64
5	3.6	0.64	-5.708	-15.98	71.4 ± 15.98

Хөрсний бутралтын зэрэг, угсрааны хөдөлгөөний хурдны $Y=f(X)$ хамаарлыг илэрхийлэх $Y_R = \frac{1}{a_0 + a_1 X}$ буюу $K_6 = \frac{1}{0.1 + 0.024v}$

гипербол муруй, түүний өөрчлөгдөх хүрээний $Y(x) = Y_R \pm \varepsilon_{(K_6)}$ буюу $K_6 = K_{6(v)} \pm \varepsilon_{(K_6)}$ графикийг (3-р зураг) тодорхой масштабтаар байгуулав.

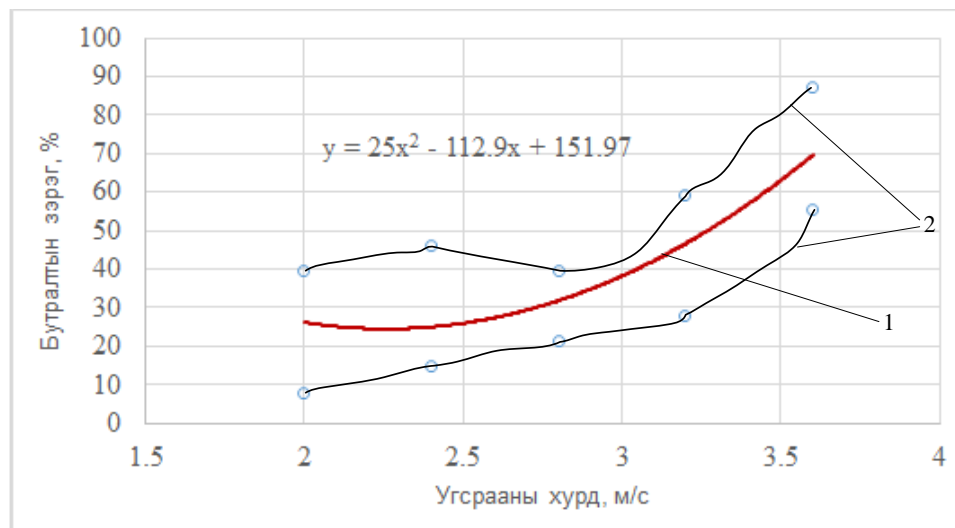


Figure 3. Graphics of the variable range of the degree of soil crumbling. 1- curve of the degree of soil crumbling, K_6 ; 2- curve of the variable range of the degree of soil crumbling, $K_{6(v)}$

Графикаас харахад КПЭ-3.6А суман хошуут сийрүүлүүрээр хавж сийрүүлэх үед хөрсний бутралтын чанар угсрааны хурдаас хамаарч

дундаж утгаасаа хоёр тийш 9.6÷15.9 % -ийн завсарт өөрчлөгдөх зүй тогтол ажиглагдаж байна.

Шүүн хэлэлцэхүй

Кубота М900+КПЭ-3.6А угсрааг 2.0...3.6 м/с хурдны хязгаарт 0.4 м/с тус тус завсрын утгатайгаар 5 удаа туршихад хөрсний бутралтын зэргийн утга 18...60% байв. Бутралтын зэрэг нь дээрх хурдны хязгаар дотор 42%-иар нэмэгдсэн байна гэсэн үг. Эндээс үзвэл, хурдны 0.4 м/с өөрчлөлтөд бутралтын зэргийн 8.4% өсөлт харгалзаж байна. Оросын эрдэмтдийн судалгаагаар, угсрааны хурдыг 0.4 м/с хэмжээгээр ихэсгэхэд бутралтын зэрэг 10% өссөн тооцоо байдаг.

Дүгнэлт

1. Машин тракторын угсрааны хурдыг $N=5$ утгаар өөрчилж, хурдны нэг утгад $u=5$ давталттайгаар туршилтаар тодорхойлсон хөрсний бутралтын зэргийн тоон утгууд хоорондоо хэт ялгарах, хэвийн тархалтын хуульд захирагдах, дисперсүүд буюу өгөгдлүүд нэгэн төрлийн байх эсэхийг зохих шалгууруудаар тус тус шалгаж үнэлэв.
2. Туршилтад тохирох шугаман биш загварыг сонгож, улмаар түүнийг шугаман загварт хувирган коэффициентүүдийг тодорхойлсноор хөрсний бутралтын зэрэг, угсрааны хурдны хамаарлын $Y_R = \frac{1}{0.1+(-0.024)X}$ гиперболын тэгшитгэлийг гаргаж авав.
3. Коэффициентүүдийн утгыг Стьюдентийн шалгуураар шалгахад $t_{T(a_n)} = 0.03 < t_x =$

Угсрааны хөдөлгөөний хурдаас хамаарч бутралтын зэрэг дундаж утгаасаа хоёр тийш $9.6 \div 15.9$ % өөрчлөлт үзүүлж $8 \dots 86\%$ утгатай байгааг хөрсний бутралтын зэргийн өөрчлөгдөх хүрээний графикаас харж болно. Энэ нь хөрс сийрүүлэх суман хошуут багажийн технологи ажиллагааны чанарын гол үзүүлэлт-хөрсний бутралтын зэрэг нь угсрааны хөдөлгөөний хурдаас шалтгаалан $35 \dots 75\%$ -ийн хооронд өөрчлөгдөнө гэсэн бусад судлаачдын дүгнэлтээс хол зөрөхгүй байна.

- 2.8, $t_{T(a_1)} = 0.004 < t_x = 2.8$ байгаа тул уг хоёр коэффициентийг орхиход сонгосон гиперболын тэгшитгэл $Y = \frac{1}{X}$ хялбар хэлбэртэй болж байна.
4. Хөрсний бутралтын зэргийн дундаж утгын итгэмжлэх завсрын утгаар байгуулсан угсрааны хурд, бутралтын зэргийн хамаарлын өөрчлөгдөх хүрээний графикийг шинжихэд угсрааны хурд, хөрсний бутралтын зэргийн утга агротехникийн шаардлагын хүрээнд байна.
5. Судалгаанаас үзвэл, газар тариалангийн үйлдвэрлэлийн МТУ-ны технологи ажиллагаа нь үндсэндээ угсрааны хурдаас онцгой хамаарч, гипербол функцээр илэрхийлэгдэнэ гэсэн онолын дүгнэлт өгөв.

Ашигласан бүтээлийн жагсаалт

- [1] Кленин Н.И, Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. (1990). Москва. Хуудас 81...83.
- [2] Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва., Наука. (1976). Хуудас 279.
- [3] Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. Пер. с англ. Москва . (1988) 8 хуудас 357.
- [4] Даваадорж Д. Хөрс сийрүүлэх, үр тариа тарих машин угсрааны ашиглалт, технологийн судалгаа. Диссертац. (2006). Улаанбаатар. Хуудас 43...54.
- [5] Даваадорж Д., Ганбат Б., Мөнгөн Ж., Зол-эрдэнэ Д. Хөрс сийрүүлэлтийн чанарт угсрааны ажлын горим нөлөөлөх байдлыг судалсан дүн. ХАА-н шинжлэх ухаан сэтгүүл. № 4. (2019).
- [6] Авдай Ч., Энхтуяа Д. Судалгаа шинжилгээний ажил гүйцэтгэх арга зүй. (2013). Улаанбаатар. Хуудас 113...136.
- [7] SAS Institute Inc., (2019). JMP learning library. Retrieved from <https://www.jmp.com/content/dam/jmp/documents/en/academic/learning-library/>.

The results of field experiments to determine the effects of the working speed of the machine tractor assembly on the quality of soil cultivation

Davaadorj Dolgor* , **Baatarkhuu Dorjsuren**

School of Engineering and Technology, Mongolian University of life Sciences, Zaisan 17024, Ulaanbaatar, Mongolia

*Corresponding author: doldavaadorj@mul.s.edu.mn

 <https://orcid.org/0000-0002-7665-214X>

Received: 01.10.2021

Revised: 08.12.2021

Accepted: 31.12.2021

Abstract

The main objective was to develop the mathematical models and to analyze the results of field experiments that studied how soil fragmentation changes depending on the speed of the machine-tractor assembly during tillage. There were no significant differences in the analysis of the statistical values of the degree of soil fragmentation measured for each repeated experiment on each variable value of the working speed of the machine tractor assembly and it was done according to the law of normal distribution. We choose the non-linear model, because the mathematical statistical calculations of the experimental data processing proved that a simple linear model was not suitable for our experiment. The regression coefficients were determined after converting the model to a linear function and converting the equation to a linear form. After determining the relationship between the speed of the machine tractor assembly and the degree of soil crumbling, we analyzed based on the graph with certain scale.

Keywords: factors, parameters, deviations, correlations, criteria, equations, models