

Цахилгаан Статик Шүүлтүүрийн Шүүх Чадварыг Түүний Хэлбэр Хэмжээтэй Уялдуулан Тооцоолох нь

Ж.Ванчинхүү, Б.Бат-эрдэнэ
МУИС, ШУС, Физикийн тэнхим

Цахилгаан шүүлтүүрийн шүүлтийн коэффициентийг онолоор тодорхойлж шүүлтийн коэффициент шүүлтүүрийн хэлбэр хэмжээ, хийн урсгалын хурд, бөөмцрийн хэмжээнээс хэрхэн хамаарч байгааг судлав. Шүүлтүүрийн хөндлөн огтлолыг ерөнхий тохиолдолд олон өнцөгт байна гэж үзвэл олон өнцөгтийн талын тоо буурахад шүүлтийн коэффициент нэмэгдэх бөгөөд адилт талт гурвалжны хувьд шүүлт хамгийн их, тойрог огтлолын хувьд хамгийн бага байна.

Мөн шүүлтийг бөөмцрийн хэмжээнээс хамааруулан судалж $r < 1 \text{ мкм}$ бөөмцрүүдийн хувьд шүүлтийн коэффициент эрс багасахыг тогтоов. Шүүлтийн коэффициентийн утга хийн урсгалын хурд ба дрейфийн хурдны харьцаанаас хамаарах бөгөөд энэ харьцаа бага байх тусам шүүлт нэмэгдэнэ.

PACS number: 52.80.Hc, 47.57.-s

Цахилгаан орон дотор байгаа цэнэгт бөөмд Кулоны хүч үйлчилдэг. Энэ үйлчлэлийг ашиглан хийг бөөмцрөөс нь цэвэрлэж болох бөгөөд энэ зарчимд тулгуурлан бүтээсэн төхөөрөмжийг цахилгаан статик шүүлтүүр гэдэг [1,3,4]. Үйлдвэрлэл, техник, технологийн процесст цахилгаан шүүлтүүрийг өргөн ашигладаг [2,5,7]. Өндөр хүчдэлтэй шүүлтүүрээр бөөмцөр агуулсан хийн урсгалыг өнгөрүүлэхэд (Зураг 1) шүүлтүүр дотор явагдах процессуудын дүнд бөөмцрүүд цэнэглэгдэж орны үйлчлэлээр электродын гадаргуу дээр сууж үлдэн бөөмцрөөс цэвэрлэгдсэн хий гадагшилдаг.

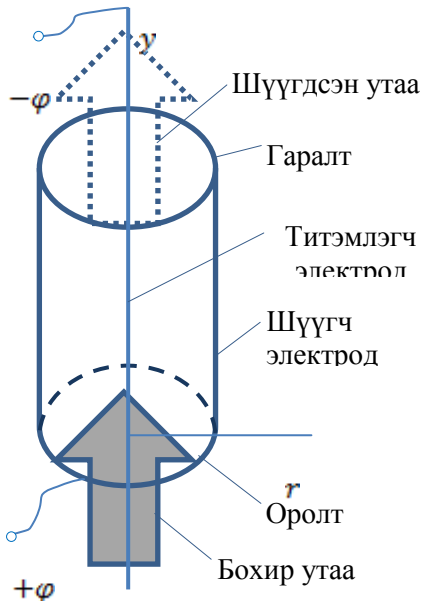
Манай улсын нийтийн халаалтад холбогдоогүй орон сууц, монгол гэрт амьдардаг айл өрх бүр өөрийн ахуйн хэрэгцээндээ гал ашигладаг бөгөөд шатаалт явуулж буй зуухнаас их хэмжээний агаар бохирдуулагч агентууд бүхий утаа ялгарч байдаг. Шаталтаас ялгарах агентуудын дотроос дутуу шаталтын үр дагавар болон гарах бөөмцөр (тоосонцор) хүний амьсгалах өндрийн түвшинд ихээр хуримтлагдаж эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлж байдаг. Цахилгаан шүүлтүүрийг айл өрхийн ахуйн хэрэгцээний зуухнаас яндангаар дамжин гадагшлах утаанд буй бөөмцрүүдийг шүүхэд хэрэглэх боломжтой бөгөөд энэ нь яндангаар гадагшилж байгаа утааны хөдөлгөөнд саад учруулдаггүй, хэрэглэхэд хялбар, овор хэмжээ багатай, найдвартай ажиллагаатай зэрэг олон давуу талтай байх юм. Гэрийн зууханд тохируулан хийсэн ийм шүүлтүүр овор хэмжээг тооцоолох асуудлыг энэ өгүүлэлд авч үзэх болно.

Шүүлтүүр дотуур хийн урсгал өнгөрөх үед бөөмцрийн концентраци ямар хуулиар буурахыг эхлээд авч үзье. Бөөмцөр агуулсан хийн системээс цахилгаан орны үйлчлэлээр

бөөмцрийг зайлуулахын тулд эн тэргүүнд түүнийг цэнэглэх шаардлагатай болдог. Хийн урсгал дотор байгаа бөөмцрүүдийг трибоцахилгаан үзэгдэл, титэмт цахилалт, хэт ягаан туяаны үйлчлэл, цацраг идэвхи зэргийг ашиглан цэнэглэж болох бөгөөд эдгээрийн дотроос утааны шүүлтүүрт хамгийн тохиромжтой, энгийн хямд төсөр цэнэглэх арга нь титэмт цахилалт юм [4]. Титэмт цахилалтыг ашигласнаар бөөмцрийг цэнэглэх, түүнийг хийн урсгалаас зайлуулах ажлыг нэг ижил орноор гүйцэтгэх боломж бүрддэг.

Тэнхлэгүүд нь давхацсан цилиндр хэлбэртэй шүүлтүүрийн хялбар байгууламжийг авч үзье (Зураг 1.). Шүүлтүүрийн сөрөг хүчдэлтэй нарийхан электродыг титэмлэгч электрод, харин эерэг хүчдэлд холбогдсон цилиндр хэлбэртэй гадаад электродыг цуглуулагч электрод гэдэг. Хүчдэл өгөхөд эдгээр электродын хооронд орон үүсэх бөгөөд титэмлэгч электродын орчим орон маш хүчтэй нэгэн төрөл биш байдаг. Шүүлтүүр рүү n бөөмцрийн концентрацитай v урсгалын хурдтай утаа (хий ба тоосонцроос тогтох дисперслэгдсэн систем) ордог гэж саная. Шүүлтүүрийн дотор энэ концентраци хөндлөн огтлолын дагуу жигд түгсэн байж чадахгүй [2,4]. Түүнчлэн шүүлтүүрийн дагуу хөдлөх үед шүүлтийн улмаас утга нь өөрчлөгдөнө. Хялбарчлах үүднээс хийн тоосонцрын концентрацийн түгэлт шүүлтүүрийн хөндлөн огтлолын дагуу жигд байдаг гэж төсөөлье. Энэ төсөөллийг бодит байдалтай нийцүүлэх зорилгоор оролтоос y зайд орших хөндлөн огтлолоор өнгөрөх утааны доторх бөөмцрийн концентрацийг дундаж утгаар нь аваад $n_d(y)$ гэж тэмдэглэе. Энэ тохиолдолд бөөмцрийн

урсгалын нягт $n_d(y)v$ байна. Шүүлтүүр дотуур хөдлөх бөөмцрүүд хийн хамт y тэнхлэг дагуу v хурдтай урсахаас гадна хөндлөн чиглэлд орны үйлчлэлээр u хурдтайгаар шүүгч электродын зүг хөдөлнө. Хөндлөн чиглэсэн энэ урсгалын нягт $n_d(y)u$ байна. Шүүлтүүрийн уртын дагуух dy өндөртэй хэсгийг утаа туулан гарах үед тоосонцрын концентрацид гарах өөрчлөлтийг



Зураг 1. Цахилгаан шүүлтүүрийн бүдүүвч

dn гээ. Шүүлтүүрийн хөндлөн огтлолын талбай S бол шүүлтүүр дээр бөөмцөр сууж үлдсэний улмаас dy урттай хэсгийг туулж өнгөрөхөд гарах урсгалын өөрчлөлтийн хэмжээ $Svdn$ байна. Нөгөө талаас сууж үлдсэн бөөмцрийн тоо шүүгч талбай (Pdy , P -хөндлөн огтлолын периметр) болон урсгал нягтын үржвэр $n_d(y)uPdy$ буюу хөндлөн чигт хөдлөх урсгалаар тодорхойлогдоно. Энэ хоёр хэмжигдэхүүн тэнцүү тул

$$Svdn = -n_d(y)vPdy.$$

Эндээс

$$\frac{dn}{dy} = -\frac{Pu}{Sv}n_d(y).$$

Энэ тэгшитгэлд бид шүүгч электрод хүрсэн бөөмс бүхэн суух албагүй гэдгийг тооцсонгүй. Өөрөөр хэлбэл, шүүгч электрод дээр очиж байгаа бөөмцрийн урсгал $n_d u P dy$ бүгд тэндээ шингэх албагүй. Шингэсэн урсгалын хэмжээг

$Pv_{\perp}n_{\perp}$ гэвэл энэ хоёр урсгалыг харьцуулснаар $\frac{n_{\perp}}{n_d} = \delta$ хувь нь л шингэж үлдэнэ гэсэн үг юм. Үүнийг тооцвол энэ тэгшитгэл дараах хэлбэртэй болно:

$$\frac{dn}{dy} = -\delta \frac{Pu}{Sv}n_d(y).$$

Энэ тэгшитгэлийг $n_d(y=0) = n_0$ (n_0 -шүүлтүүр рүү орж байгаа утааны бөөмцрийн концентрацийн анхны утга) анхны нөхцөлтэйгээр интегралчилбал:

$$n = n_0 \exp\left(-\delta \frac{Pu}{Sv}y\right).$$

Энэ функц шүүлтүүрийн уртын дагуу концентрац ямар хуулиар буурахыг үзүүлнэ.

Шүүлтүүрийн өндрийг L гэж үзээд түүнийг туулан гарсан утааны бөөмцрийн концентраци $n_L = n(y=L)$ ямар болсон байхыг олбол:

$$n_L = n_0 \exp\left(-\delta \frac{Pu}{Sv}L\right). \quad (1)$$

Шүүлтүүрийн шүүх чадвар буюу шүүлтийн коэффициентийг шүүгдсэн бөөмцрийн тоо $n_{\perp} = n_0 - n_L$ -ийг анхны утганд харьцуулсан $\eta = 1 - \frac{n_L}{n_0}$ харьцаагаар үнэлдэг [1-4, 6]. Энд дээрх илэрхийллийг тооцвол шүүх чадвар

$$\eta = 1 - \frac{n_L}{n_0} = 1 - \exp\left(-\delta \frac{Pu}{Sv}L\right).$$

Эндээс үзэхэд шүүлтүүрийн шүүх чадвар түүний хэлбэр буюу $\frac{P}{S}L$ -ийн зохистой харьцаанаас гадна хийн урсгалын хурд ба бөөмцрийн хөндлөн чиглэлд хөдлөх хурдны харьцаагаар тодорхойлогдоно. Цаашдын тооцоонд бид $\delta \approx 1$ гэж авах болно.

Туршлагаас үзэхэд гэрийн зуухны яндангаар гадагшилж байгаа утааны урсгалын хурд ~ 1 м/с байдаг бөгөөд утааны урсгалыг ламинар, хөндлөн огтлолын дагуу жигд гэж үзэж болно [1,3]. Харин шүүлтүүр дотор орны дагуу хөдөлж байгаа бөөмцрийн дрейфийн хурдыг дараах хэлбэртэйгээр [3] авч болно:

$$u = 0.11810^{-10} E^2 r / \mu, \quad (2)$$

энд: E -шүүгч орны хүчлэг, r -бөөмцрийн радиус, μ -бөөмцрийн хөдлөц. Энэ хурд гадны орны утга болон бөөмцрийн хэмжээнээс

хамаарч байгаа тул шүүлтийн коэффициент ч мөн эдгээрээс хамаарна.

Шүүлтүүрийн хөндлөн огтлол ерөнхий тохиолдолд олон өнцөгт хэлбэртэй байна. Ийм учраас зөв олон өнцөгтийн периметр ба талын харьцааг судалъя. a талтай n тооны талс бүхий зөв олон өнцөгтийн периметр $P = na$. Энэ олон өнцөгт n ширхэг гурвалжнаас тогтох тул талбай нь $S = nS_{\Delta}$. Олон өнцөгтийг бүтээж байгаа нэг гурвалжны нийлэгч оройн өнцөг $\alpha = 360^{\circ}/n$.

Энэ гурвалжин a суурьтай адил хажуут гурвалжин байх ба түүний өндөр

$$h = \frac{a}{2} \cdot \text{ctg}\left(\frac{360^{\circ}}{2n}\right) \quad \text{тул} \quad \text{талбай} \quad \text{нь}$$

$$S_{\Delta} = \frac{a}{2} \cdot h = \frac{a^2 \text{ctg}\left(\frac{360^{\circ}}{2n}\right)}{4} \quad \text{байна.} \quad \text{Гурвалжны}$$

хажуу талын урт $l = \left(\frac{a}{2}\right) / \sin\left(\frac{360^{\circ}}{2n}\right)$ байна.

Иймд, a урттай n тал бүхий зөв олон өнцөгтийн

$$\text{талбай} \quad S = nS_{\Delta} = n \cdot \frac{a^2 \text{ctg}\left(\frac{360^{\circ}}{2n}\right)}{4} = \frac{n}{2} \cdot l^2 \sin\left(\frac{360^{\circ}}{n}\right)$$

байна. r радиус-тай тойрогт багтсан олон өнцгийн чанарыг ашиглан бүтээгч гурвалжны талын урт нь багтаасан тойргийн радиустай тэнцүү $l = r$ байхыг олж болно. Олон өнцөгтийн талбай ба периметрийн харьцаа

$$\frac{S}{P} = \frac{a \cdot \text{ctg}\left(\frac{360^{\circ}}{2n}\right)}{4} = \frac{1}{2} l \cdot \cos\left(\frac{360^{\circ}}{2n}\right).$$

Тухайлбал,

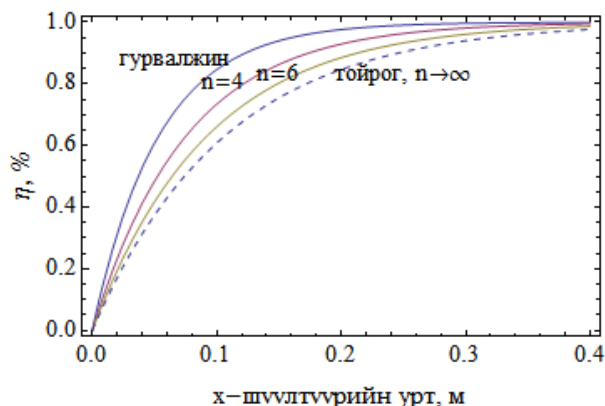
$$n = 3 \text{ бол } \frac{S}{P} = \frac{r}{4} = \frac{a}{4\sqrt{3}},$$

$$n = 4 \text{ бол } \frac{S}{P} = \frac{\sqrt{2}r}{4} = a/4,$$

$n = 6$ бол $\frac{S}{P} = \frac{\sqrt{3}r}{4} = \sqrt{3}a/4$ байна. Шүүлтийн коэффициентэд шүүлтүүрийн периметр ба талбайн харьцааг тооцож шүүлтийн коэффициент шүүлтүүрийн уртын дагуу ямар байхыг олж болно (Зураг 2). Энэ хамаарлыг тооцоолохдоо практикт нийцүүлэн

$$E = 150 \text{ кВ/м}, \quad \mu = 0.181 \cdot 10^{-4}, \quad r = 5 \text{ мкм},$$

$$a = 1.61 \cdot 10^{-2} \text{ утгуудыг ашиглав.}$$



Зураг 2. Шүүлтийн коэффициент ба уртын хамаарал

Энэ графикаас харахад шүүлтийн коэффициент шүүлтүүрийн хөндлөн огтлолоос хүчтэй хамаарах бөгөөд зөв олон өнцөгт суурь бүхий цилиндр хэлбэртэй шүүлтүүрүүд дотроос адил талт гурвалжин огтлолтой шүүлтүүр хамгийн сайн шүүлттэй байх нь харагдаж байна. Үүнээс гадна шүүлтийн коэффициентийн өгөгдсөн нэг утганд шүүлтүүрийн өөр өөр өндөр харгалзана. Энэ нь шүүлтүүрийн хөндлөн огтлолыг өөрчлөх замаар шүүлтүүрийн өндрийг өгөгдсөн шаардлагад

Хүснэгт 1

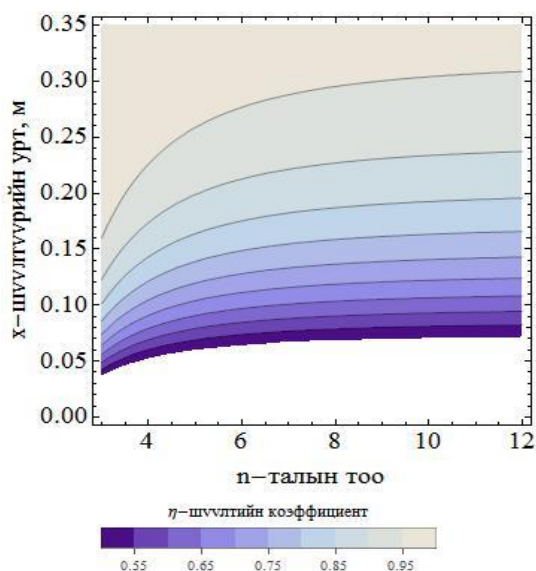
Түүлтийн хөндлөн огтлолын	Гурвалжин	Квадрат	Октаэдр	Тойрог
$l, \text{ м}$	0.16	0.23	0.28	0.321

тохируулан багасгах боломжтой олгодог.

Тухайлбал, $\eta = 0.95$ шүүлттэй шүүлтүүрийн урт түүний хөндлөн огтлолоос хамаарч ямар байхыг Хүснэгт 1-д үзүүлэв. Ерөнхий

тохиолдолд η -шүүлтийн коэффициент өгөгдсөн утгатай үед шүүлтүүрийн урт огтлолын олон өнцөгтийн талын тооноос хэрхэн хамаарахыг Зураг 3-т үзүүлэв.

Эндээс харахад шүүлтүүрийг хамгийн цөөн тал бүхий олон өнцөгт огтлолтой хийвэл ийм шүүлтүүр хамгийн богино бөгөөд хамгийн сайн шүүх чадвартай байх нь харагдаж байна. Өгөгдсөн радиустай тойрогт багтах олон өнцөгтийн талын тоо цөөрөх тусам үүсгэгч гурвалжны суурь уртасч, харин өндөр нь буурдаг.



Зураг 3. Шүүлтийн урт ба хөндлөн огтлолын олон өнцөгтийн талын тоо

Ийм учраас үүнд харгалзан шүүх талбайн хэмжээ ихсэж электрод хоорондын зай багасах учраас цөөн талтай олон өнцөгт хэлбэртэй хөндлөн огтлол бүхий шүүлтүүрийн шүүх чадвар дээшилнэ.

Одоо олон өнцөгтийг үүсгэгч гурвалжны суурийн урт, талын урт, өндрийн харьцааг авч

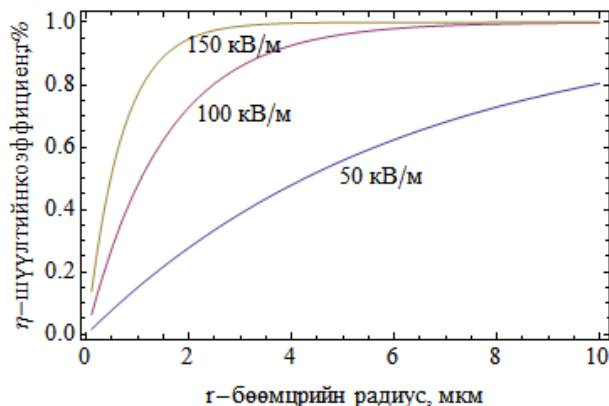
үзье. $a = 2 \cdot r \cdot \sin(360^\circ/2n)$ -г ашиглан $a = r$ байх хязгаарыг олбол $n = 6$ буюу зургаан өнцөгтийн хувьд талын урт суурийн урттай тэнцэх ба үүнээс олон өнцөгтийн хувьд суурийн урт нь талын уртаасаа бага байна.

Харин $h \leq a$ нөхцөлөөс $\text{tg}(360^\circ/2n) \leq 1/2$ тэгшитгэлийг хангах $n \leq \frac{\pi}{\arctg(\frac{1}{2})} = 6.75$ -ийн

хувьд олон өнцөгтийг үүсгэгч гурвалжны өндөр суурийн урттайгаа тэнцэх бөгөөд үүнээс их болоход өндөр нь суурийн уртаасаа их болно. Иймд, суурийн урт нь өндрөөсөө их байх хамгийн олон өнцөгт бол зургаан талт юм. Иймээс шүүлтүүрийн огтлол олон өнцөгт бай тохиолдолд талын урт өндрөөсөө бага болж шүүгч талбайн хэмжээг багасгахаас гадна бөөмцрийн хөндлөн чигт туулах замыг ихэсдэг. Эндээс шүүлтүүрийн хөндлөн огтлол

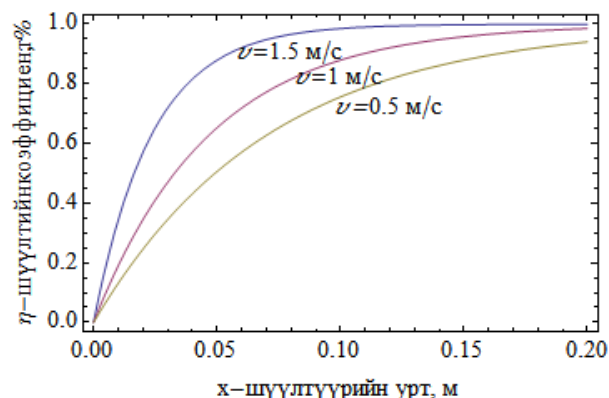
$n > 6$ олон өнцөгт байх нь үр ашиггүй гэсэн дүгнэлт хийж болно. Харин шүүлтүүрийг параллель ялтас ($n = 1, 2$) хэлбэртэй хийвэл шүү талбай ихсэж, электрод хоорондын зай багасах боловч шүүгч электродын хоёр зах орчмоор явж байгаа хийн урсгал цахилгаан оронд бараг өртөлгүйгээр явах учраас шүүгдээгүй бөөмцрийн тоо хэмжээ ихэсдэг. Үүнээс зайлсхийхийн тулд титэмлэгч

электродын тоог нэмэгдүүлж өгөх хэрэгтэй юм. Энэ тохиолдолд цахилгаан оронд өртөгдөх хийн урсгалын шугамын тоо олширч шүүлт мэдэгдэхүйц сайжирна.



Зураг 4. Орны янз бүрийн утганд харгалзах шүүлтийн коэффициент ба бөөмцрийн хэмжээний хамаарал

Одоо шүүлтийн коэффициент бөөмцрийн хэмжээнээс хэрхэн хамаарахыг авч үзье. (2) илэрхийллийг шүүлтийн коэффициентэд тооцож том хэмжээтэй бөөмцрийн хувьд шүүлтийн коэффициент их байх бөгөөд бөөмцрийн хэмжээ жижигрэх тусам шүүлтийн коэффициентийн утга багасна гэсэн дүгнэлтийг



Зураг 5. Хийн хурдны янз бүрийн утганд харгалзах шүүлтийн коэффициент (Хурдны харгалзах утгыг график бүрт зааж өгөв.

Дрейфийн хурд $u = 0.15$ м/с)

хялбархан гаргаж болно. Мөн шүүлтүүрийн доторх орны хэмжээг нэмэх замаар шүүлтийн коэффициентийг нэмэгдүүлж болох бөгөөд орны их утганд бага хэмжээтэй бөөмцөр шүүгдэх боломжтой гэдгийг хялбархан харж болно. Утааны доторх бөөмцрийн хэмжээ $0.1 \text{ мкм} < r < 10 \text{ мкм}$ байдаг [8]. Бөөмцрийн хэмжээ энэ мужид байх тохиолдолд шүүлтийн коэффициент ямар байхыг Зураг 4-т үзүүлэв.

Шүүлтийн коэффициент хийн хурд ба дрейфийн хурдны харьцаанаас хэрхэн хамаарахыг Зураг 5-д үзүүлэв. Хийн урсгалын

хурдыг багасгаж дрейфийн хурдыг нэмэгдүүлэх замаар шүүлтийн коэффициентийг нэмэгдүүлэх боломжтой юм. Хийн хурдыг бууруулахын тулд шүүлтүүрийн байрлах хэсэгт хоолойн диаметрийг нэмэгдүүлэх нь хамгийн тохиромжтой зам юм. Тасралтгүйн тэгшитгэл ёсоор яндангийн S огтлолтой хэсгээр v хурдтай хөдөлж буй хий хоолойн S' огтлолтой хэсэгт $v' = \left(\frac{S}{S'}\right)v$ хурдтай хөдөлнө. Ийм учраас шүүлтүүр байрлах хэсгийн диаметрийг ихэсгэснээр хийн хурдыг багасгаж болно.

Ингэснээр хийн хурдыг бууруулаад зогсохгүй өргөн хэсэгт байрлах шүүгч үүрүүдийн тоог нэмэгдүүлэх боломжтой болдог. Шүүлтүүр олон үүртэй тохиолдолд шүүлтийн коэффициентийг үүр бүрийн шүүлтийн коэффициентийн арифметик дундаж

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_i \eta_i \text{--аар олно.}$$

Эцэст нь өгөгдсөн утгатай цахилгаан шүүлтүүрийг хийхийн тулд энэ өгүүлэлд дурдсан хүчин зүйлүүдийг тооцон түүний хэлбэр хэмжээг бүрэн тодорхойлж болно.

-
- [1] K. Parker, "Electrical operation of electrostatic precipitators", The institution of engineering and technology, (2007).
- [2] В. С. Швыдкий, М. Г. Ладыгичев, "Справочник: Очистка газов" Теплоэнергетик, Москва, (2002).
- [3] В. Н. Ужов "Очистка промышленных газов электрофильтрами", Издательство Химия, Москва, (1967).
- [4] В. И. Левитов, И. К. Решидов и др. "Дымовые электрофильтры", Издательство Энергия, (1980).
- [5] K. Yan, "Electrostatic precipitation 11th International Conference on Electrostatic Precipitation", Hangzhou, (2008).
- [6] H. J. White Ind. Engineering Chem, 47, 932, (1955).
- [7] V. Thonglek, T. Kiatsiriroat, J. Eng. Technol. Sci., 46, 271, (2014).
- [8] M. W. Mcelroy, R. C. Carr and et. al. Science. 215, 4528, 13, (1982).

