

Салхины явцад ажиглагдах хуйн параметруудийг тодорхойлох нь

Ж.Ванчинхүү^{1,*}, Г.Амгалан², Э.Баянжаргал³

¹ Физикийн тэнхим, ШУС, МУИС

² Цаг уур, орчны шинжилгээний газар, БОАЖЯ

³ Аналитик лаборатори, Материал судлалын салбар, ФТХ-ШУА

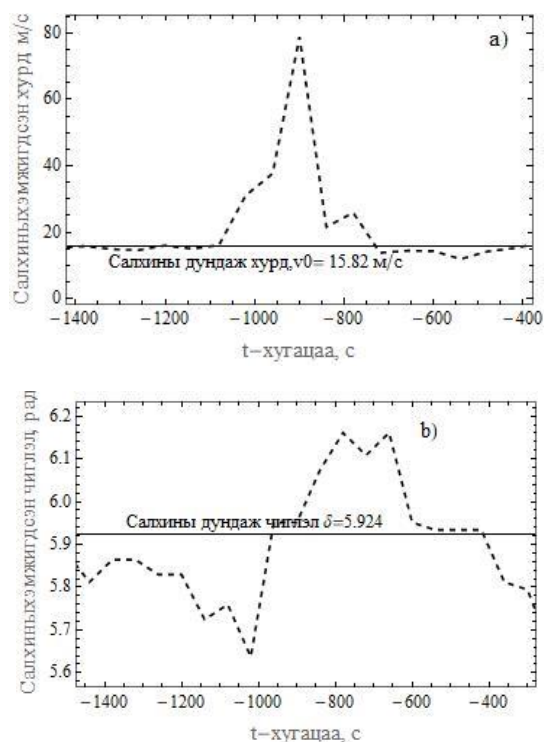
Салхины явцад хуй ажиглагдах тохиолдолд бүртгэгдэх хурд ба чиглэлийн өгөгдлийг байгуулж түүнийг дундажлан салхины хэмжигдэх хурд ба чиглэлийг гаргах асуудлыг судлав. Хэмжигдсэн хурдыг байгуулсан өгөгдлөөс гаргахын тулд хуйн тангенциал хурдыг Ранкины загвараар өгөгдөнө гэж үзсэн бөгөөд хуйн хэмжээг захын тойргийн тангенциал хурд нь салхины хурдтай тэнцүү байна гэсэн нөхцөлөөр хязгаарлав. Хэмжигдсэн хурд ба чиглэлийн өгөгдлийг байгуулахдаа хугацааны эгшин бүр дээр хэмжигдэх хурд ба чиглэлийг нэг минутын интервалаар дундажлав. Хэмжигдэх хурд ба чиглэлийг байгуулснаар салхины дотор ажиглагдах хуйн радиус, хамгийн их хурд зэрэг гол хэмжигдэхүүнүүдийг тодорхойлов.

PACS number: 93.30.Db, 93.85.Bc

УДИРТГАЛ

Хуй нь агаарын дотор үүсэж буй хийн эргэлдэх процесс бөгөөд газрын гадаргуу орчмын агаар мандалын доторхи температур болон даралтын огцом өөрчлөлтөөс болж үүсдэг [1,2]. Энэ нь агаар дотор боссон тоосон багана мэт харагддаг бөгөөд хэлбэрийн хувьд суурьтай нь параллелиэр огтолсон конусыг хөрвүүлэн байрлуулсантай ойролцоо (юүлүүр) хэлбэртэй гэж загварчлан авч үздэг [3,4,5]. Хуйн онцлог, чанарыг тогтоосон судалгааны үр дүнгүүдээс үзэхэд энэ процесс нартай үеэр ямагт өдрийн цагаар, олонхи тохиолдолд өдрийн үдээс хойш ажиглагддаг бөгөөд үргэлжлэх хугацаа нь (хэдхэн секундээс хэдэн арван минут) харилцан адилгүй байдаг. Зарим тохиолдолд их өндөртэй хуй хэдэн цагаар үргэлжлэн ажиглагдаж болно [2,4]. Хуйн хэмжээг түүний өндөр болон газар орчмын суурийн диаметрээр нь үнэлдэг. Диаметр нь хэдэн арван сантиметрээс хэдэн зуун метр, өндөр нь хэдэн зуун метр, заримдаа хэдэн мянган метр хүрдэг [2,6]. Хуйн эргэлтийн тэнхлэг дагуу агаарын даралт өөрчлөгддөг. Үүний зэрэгцээ босоо тэнхлэгийн дагууд эргэлтийн тангенсиал хурд нь өөрчлөгддөг [3,7]. Хуйн эргэлтийн чиглэл цагийн зүүний дагуу эсвэл эсрэг байх ба туршлагын баримтууд эдгээр нь бараг адил тоотой үүсдэг болохыг харуулдаг [4]. Хуйн үүсэлд газрын гадаргуу орчмын агаарын параметруудээс гадна тоосны

ширхэгүүдийн цахилгаанжилт ч нөлөө үзүүлж болдог [7]. Харин хуй нь агаарын доторхи температур ба даралтын ялгаанаас болж хэвтээ тэнхлэгийн дагууд шилждэг. Энэ нь салхины дотор ажиглагдах хуйн тохиолдол юм. Хуйн хэвтээ хавтгай дээрх эргэлтийн тангенсиал хурд нь ихэвчлэн Ранкины загвараар илэрхийлэгддэг [3].



Зураг 1. Салхины хэмжигдсэн хурд (a) ба чиглэлийн (b) хугацааны хувьсал.

* Electronic address: jvanchinkhuu@yahoo.com

Салхины хурдыг тухайн нэг цэг дээр хэмжсэн мэдээллийн сангийн өгөгдлийг ашиглан салхины чиглэл ба хурдны хугацааны түгэлтийг (time series) байгуулж үзэхэд тухайн цэг дээр хэдийд ямар хурдтай, аль зүгээс ирсэн салхи ажиглагдсан нь тодорхой харагддаг. Ийм өгөгдлийг үндэслэн байгуулсан салхины хэмжигдсэн хурдны утга ба чиглэлийн [8] хугацааны хувьсалыг Зураг 1-т үзүүлэв.

Салхины хурд ба чиглэлийн хэмжигдсэн утгын энэ өгөгдөл дотор гарч ирж буй өндөр утгууд нь салхины доторхи хуйлралтай холбоотой юм. Салхины дотор хуйлрал байхгүй бол салхины хурдны утга ба чиглэл нь хэвтээ тэнхлэгтэй бараг параллель шулуун байх ёстой.

Бид өмнөх өгүүлэлдээ Зураг 1а-д үзүүлсэн мэдээллийг үндэслэн ажиглагдаж байгаа хэт өндөр хурдны утгууд үнэн эсэх, ер нь ийм өндөр хурд ажиглагдаж болох эсэхийг судалж салхины дотор хуй ажиглагдах үед хэт өндөр хурдууд бүртгэгдэж болох бөгөөд салхины хурд болон чиглэлийн хугацааны хувьсал нь хуйн хэлбэр, хэмжээнээс хамаарахыг үзүүлсэн [9]. Үүний зэрэгцээ өгөгдлийг ашиглан хуйн параметруудийг тодорхойлох боломжийг тогтоож дүгнэлт гаргасан. Энэ өгүүлэлд бид хэмжигдсэн утгуудыг онолын хувьд байгуулж хуйн параметруудийг тогтоох асуудлыг авч үзэв.

БОДЛОГЫН ТАВИЛТ, ЗАГВАР

Салхины ажиглалтын автомат станцын бүртгэсэн салхины хурд ба чиглэлийн тухай мэдээллээс гарган авсан дээрх түгэлт нь нэг минутын дотор бүртгэгдсэн утгуудыг дундажлах замаар тогтоосон өгөгдлүүдээр дүрслэгддэг. Үүний зэрэгцээ эдгээр нь зөвхөн хуйн суурь орчмын хэвтээ хавтгай дээрх (2м орчим өндөрт) утгууд учраас хуйн босоо тэнхлэгийн дагуух мэдээллийг огт агуулдаггүй. Ийм учраас энэ өгөгдлүүд зөвхөн хуйн суурь орчмын хэвтээ хавтгай дээрх хурд ба чиглэлийн тухай мэдээллийг бидэнд өгдөг. Үүний зэрэгцээ энэ нь хугацаагаар дундажлагдсан утгууд учраас хуйг тодорхойлогч хэмжигдэхүүнүүдийг нарийвчлан тодорхойлоход төдийлэн тохиромжтой биш өгөгдлүүд бөгөөд хэрэв энэ өгөгдөлд тулгуурлан салхийг тодорхойлох хэмжигдэхүүнүүдийг тодорхойлбол эдгээр нь нэлээд ойролцоологдсон байх нь зүйн хэрэг.

Харин энэ өгөгдөл секунд буюу түүнээс бага интервалд бүртгэгдсэн байсан бол эндээс салхи болон түүний дотор ажиглагдах хуйн талаар нарийвчилсан мэдээллүүдийг гарган авах боломжтой юм.

Хэмжигдэхүүний дундаж утгыг тодорхойлох

Салхины хэмжигдсэн өгөгдлөөс салхины өөрийг нь тодорхойлогч хэмжигдэхүүнүүдийг тодорхойлох тухай энэ асуудлыг эсрэг талаас нь авч үзье. Хэрэв хугацааны нарийвчилсан хэмжилтийн зохиомол өгөгдлөөс хэмжилтээр гарч ирсэн өгөгдлийг үүсгэн тохируулга хийх замаар тэмдэглэгдсэн өгөгдлийн анхны дундажлагдаагүй өгөгдлийг байгуулж чадвал заавал нарийвчилсан хэмжилт шаардлагагүйгээр салхи болон хуйн талаар нарийвчилсан утгуудыг гарган авах боломжтой юм. Тэгвэл манай бодлого хиймэл өгөгдөл байгуулж дараа нь энэ өгөгдлөөс хугацаагаар дундажласан өгөгдлүүдийг байгуулах бодлого болно. Дундажлах замаар гарган авсан энэ өгөгдлийг бид хэмжилтийн үр дүнтэй жишин түүнтэй тохирч байгаа эсэхийг шалган анхны өгөгдлөө дахин засварлаж дундажласан өгөгдөл хэмжилтийн өгөгдөлтэй тохирох хүртэл үргэлжлүүлэх юм. Үүний хамт бид салхины чиглэлийн өгөгдлийг давхар авч үзэн хийж буй тооцоогоо шалгах болно. Энэ бодлогыг нөгөө талаас нь хэлбэл дундажлаж гаргасан (энэ нь хэмжилтийн өгөгдөл юм) өгөгдөлд суурилан хугацааны эгшин бүрд хэмжигдсэн утгуудыг байгуулна гэсэн үг юм. Энэ асуудлыг шийдэхийн тулд шийдэлтэй холбоотойгоор гарч ирэх тооцооны зарим онцлог болон дөхөлтүүдийг авч үзье. Функцийн дундаж утгыг олохдоо

$$\bar{f} = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (1)$$

ерөнхий илэрхийллийг ашигладаг. Бид энд салхины хэмжигдсэн хурд болон чиглэлийн тухайн эгшин дэх утгыг гаргахдаа хугацааны эгшин бүр дээр байгуулсан хурд болон өнцгийн утгыг өгөгдсөн интервалын хувьд дээрх томъёогоор дундажлан гаргаж авах болно. Хэмжилтийн утга 1 минут алхамтайгаар өгөгддөг учраас бид тооцоондоо дундажлах интервалыг $t_{int} = 60$ сек утгатайгаар авав.

Харин энэ хэмжилтийг авсан автомат станцийн заавраас үзэхэд хурд ба чиглэлийн утгыг 3 секунд бүр дундажлан 1 секундын интервалтайгаар бүртгэдэг бөгөөд өгөгдлийг хэрэглэгчийн шаардлагын дагуу дундажлан гаргадаг.

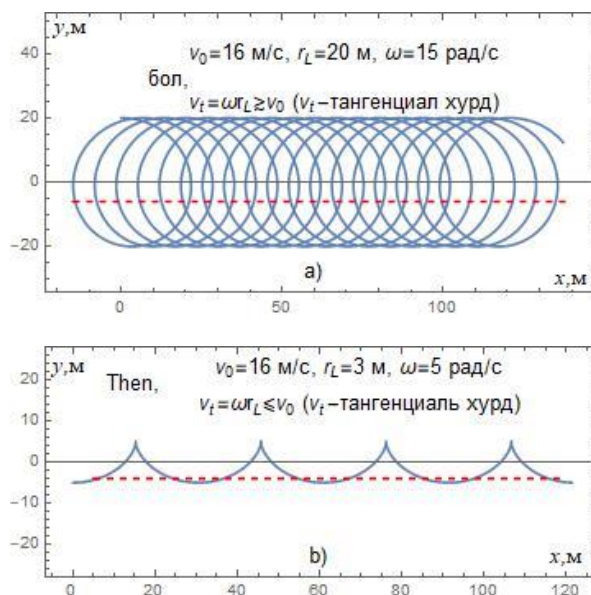
Төгсгөлөг хэмжээтэй хуйн загвар

Хуй нь радиусаасаа хамаарч өөр өөр тангенциал хурдтайгаар эргэлдэж байгаа агаарын урсгал юм. Хуйн хувьд хэрэглэгддэг хамгийн энгийн, түгээмэл загвар нь Ранкины хуй юм. Ранкины загварт хуйн эргэлтийн тангенциал хурд дараах хуулиар өгөгддөг:

$$v = \begin{cases} \frac{V_R}{R}r & \text{хэрэв } 0 \leq |r| \leq R, \\ \frac{V_R R}{r} & \text{хэрэв } R \leq |r|, \end{cases} \quad (2)$$

энд: R -хуйн хамгийн их хурдтай эргэх тойргийн радиус, V_R -хуйн хамгийн их хурдтай тойрогт харгалзах тангенциал хурд. Энд буй r нь хуйн төвөөс эхлэн тоологдоно. Энэ илэрхийлэл түүнийг хязгааргүй их радиустай гэсэн санааг агуулж байдаг. Гэтэл амьдрал дээр ийм хуй байх боломжгүй нь ойлгомжтой. Үүний зэрэгцээ ийм хязгааргүй хэмжээтэй хуйн загварыг төгсгөлөг процессийг загварчлах математик тооцоололд хэрэглэхэд ч төвөгтэй. Ранкины хуйн хурдыг энэ функцээр төлөөлүүлэн түүнийг хязгааргүй хэмжээтэй гэсэн төсөөллөө хадгалан тооцоог хийж салхины хэмжигдсэн хурд ба чиглэлийг тооцоолон гаргахад эдгээр нь захын нөхцөл зөв тооцогдоогүйн улмаас хэмжигдсэн утгад эс багтах утгуудыг авч байхад хүрдэг. Ийм учраас Ранкины хуйг зайлшгүй хязгаарлах шаардлагатай, өөрөөр хэлбэл тооцоондоо хуй тодорхой хэмжээтэй болохыг тусгаж өгөх шаардлагатай болдог. Ранкины хуйн дээд хэмжээг тогтоох асуудлыг авч үзье. Хэрэв хэмжих багажийг хуй дайран өнгөрвөл уг багаж салхины шилжилтийн хурд болон хуйн тангенциал хурдны вектор нийлбэрийг хэмжиж үүнийгээ салхины хурд болгон тэмдэглэх нь ойлгомжтой. Тодорхой хурдтай салхины дотор түүнээс их тангенциал хурдтай хуй байвал хуй Зураг 2а-д үзүүлсэн байдалтай дүрслэгдэнэ (Хуй хэмжих багажийг дайран гарах шугам зурагт тасархай улаан шугамаар дүрслэгдсэн бөгөөд

үүнтэй параллель орших аль ч шугам дээр хэмжих багаж орших боломжтой юм).

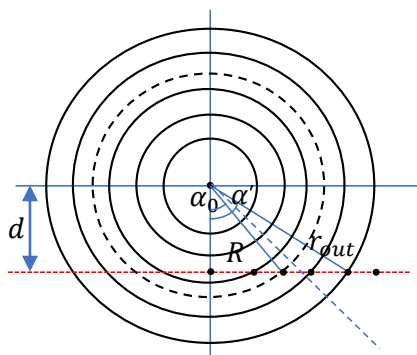


Зураг 2. Хуйн шилжилт (Хуй хэмжих багажийг дайран гарах шугамыг тасархай улаан шугамаар дүрслэв.)

Харин хуйн тангенциал хурд нь салхины хурдаас бага байвал хуй багажийг дайран гарах үедээ бүтэн эргэж чадахгүй, иймээс багаж зөвхөн чиглэл нь өөрчлөгдсөн салхийг хэмжих болно. Ийм салхины доторхи хуй Зураг 2б-д үзүүлсэнтэй адил дүрслэгдэнэ. Эдгээрээс харахад хуйн тангенциал хурд салхины шилжилтийн хурдаас их байвал хуй багажийг дайран өнгөрөхдөө бүрэн нэг эргэж чадна, харин бага байвал эргэж чадахгүй. Иймээс хуй бүрнээрээ бүртгэгдэж байхын тулд хуйн захын тойргийн тангенциал хурд нь хамгийн багадаа салхины шилжилтийн хурдтай тэнцүү байх ёстой болж таарч байна. Энэ нөхцөлөөс бид хуйн хамгийн захын тойрог буюу тангенциал хурд нь салхины хурдтай тэнцүү байх тойргийн радиусыг олж болно. Хамгийн их хурдтай тойргоос энэхүү гадаад тойрог хүртэл тангенциал хурд $v = V_R R / r$ (R - хамгийн их хурдтай тойргийн радиус) хуулиар өөрчлөгдөнө (буурна). Энд буй r гадаад тойргийн радиус r_{out} -тай тэнцүү болоход энэ тойрогт харгалзах тангенциал хурд нь салхины хурдтай тэнцүү болох учраас энэ тойргийн радиус

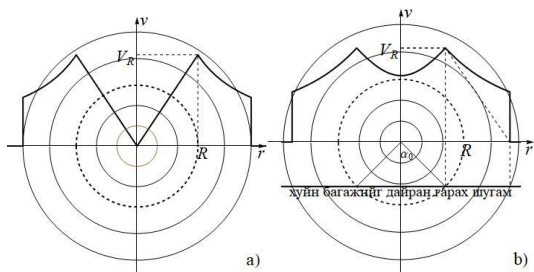
$$r = V_R R / v_0 \equiv r_{out} \quad (3)$$

гэж тодорхойлогдоно. Энэ тохиолдолд харгалзах хуйг Зураг 3-т дүрслэв.



Зураг 3. Хуйн хэвтээ хавтгай дээрх эргэлт. Хамгийн их хурдтай тойргийг тод тасархай шугамаар дүрслэв. Тасархай шулуун хэмжилт явагдах шугамыг заана.

Ранкины хуйн хувьд тойргийн төвөөс хамгийн их хурдтай тойрог хүртэл тангенциал хурд нь тэг утгаас эхлэн $v = \frac{V_R}{R} r$ шугаман хуулиар өсөж V_R болох ба харин энэ тойргоос цааш тангенциал хурдны утга V_R -ээс эхлэн буурч салхины шилжилтийн хурдтай тэнцүү болтолоо



Зураг 4 Хуйн тангенциал хурдны түгэлт: а) диаметрийн шугамын дагуух түгэлт б) нэг хөвчийн дагуух түгэлт.

үргэлжилнэ. Иймд хамгийн захын үргэлжилсэн шугамаар дүрслэгдэх тойрог нь салхины шилжилтийн хурдтай эргэх тойрог юм. Тэгвэл бид ийм төгсгөлөг хэмжээтэй Ранкины хуйн тангенциал хурд дараах хуулиар илэрхийлэгдэхийг тогтоож болно:

$$v = \begin{cases} \frac{r}{R} V_R & \text{хэрэв } 0 \leq |r| \leq R, \\ \frac{V_R R}{r} & \text{хэрэв } R \leq |r| \leq r_{out}, \\ 0 & \text{хэрэв } r_{out} \leq |r|, \end{cases} \quad (4)$$

Энэ хуйн тангенциал хурдны диаметрийн дагуух түгэлтийн ерөнхий хэлбэр ямар байхыг Зураг 4а-д дүрслэн үзүүлэв.

Хуйн характеристикүүдийг тодорхойлох

Хэрэв хуйн хамгийн их хурдтай тойргийн радиус эсвэл гадаад тойргийн радиус мэдэгдэж байвал (4) томъёог ашиглан тэдгээрийн нэгийг нөгөөгөөр нь илэрхийлж болно (Зураг 3). Үүний

зэрэгцээ α_0 (хуйн хамгийн их хурдтай тойрог ба хэмжих багажийг дайрч байгаа шулууны огтлолын цэгүүдийг холбоход үүссэн, салхины чиглэл дагуух хөвчийн төвийн өнцгийн хагас) ба α' -ийн (захын тойргийг багаж дайран гарах хөвчийн төвийн өнцөг) аль нэг өгөгдсөн бол нөгөөг бас олж болно. Тухайн хөвчийн хувьд тойргийн төвөөс хөвчийн хагас хүртлэх d зай нь салхи шилжих явцад хэвээр хадгалагдана:

$$d = R \cos \alpha_0. \quad (5)$$

Хуйн хамгийн гадаад тойргийн радиусыг энэ хэмжигдэхүүнээр илэрхийлбэл

$$r_{out} = \frac{d}{\cos \alpha'}, \quad (6)$$

энд: α' -гадаад тойргийн хөвчид харгалзах төвийн өнцөг. Эдгээрээс R ба r_{out} болон α_0 ба α' хоорондоо дараах харьцаагаар холбогдоно:

$$r_{out} \cos \alpha' = R \cos \alpha_0. \quad (7)$$

Хуй хэмжих багажийг аль хөвчөөрөө дайран өнгөрч байгаагаас хамааран түүний тангенциал хурд ямар байхыг олъё. Ийм төгсгөлөг хэмжээтэй Ранкины хуй хэмжих багажийг диаметрээрээ дайран өнгөрч байхад түүний тангенциал хурд дээр өгөгдсөн (4) хуулиар өөрчлөгдөнө. Харин төгсгөлөг хэмжээтэй Ранкины хуй хэвтээ хавтгайн дагуу v_0 хурдтайгаар хэмжих багажийг салхины чиглэл дагуух аль нэг хөвчөөрөө дайран өнгөрч байхад түүний тангенциал хурд дараах хуулиар өөрчлөгдөнө:

$$v = \begin{cases} \frac{r}{R} V_R & \text{хэрэв } 0 \leq |r| \leq R \sin \alpha_0, \\ \frac{V_R R}{r} & \text{хэрэв } R \sin \alpha_0 \leq |r| \leq r_{out} \sin \alpha', \\ 0 & \text{хэрэв } r_{out} \sin \alpha' \leq |r|, \end{cases} \quad (8)$$

энд: α_0 -хамгийн их хурдтай тойргийн нумд харгалзах төвийн өнцөг, r багажийн дайран өнгөрч байгаа хөвчийн төвөөс эхлэн хөвчийн дагуу тоологдох ба тухайн тойргийн хувьд $r = R \sin \alpha$ байна, α -хуйн тухайн тойрогт харгалзах хөвчийн төвийн өнцөг бөгөөд хөвчийн хагасаас хамгийн их хурдтай тойрог хүртэл $\{0, \alpha_0\}$, харин их хурдтай тойргоос захын тойрог хүртэл $\{\alpha_0, \alpha'\}$ утга авдаг. Энэ хурдны хөвчийн дагуух түгэлтийн ерөнхий төрхийг Зураг 4б-д үзүүлэв. Энэ хуйн онцлог нь хуйн төвөөс холдох тусам

тангенциал хурд нь ихэссээр радиусын тодорхой нэг R утган дээр хамгийн их утга авч цааш зайнаас хамаарч урвуу хуулиар буурсаар хуйн захын тойрог дээр салхины хурдтай тэнцүү утгатай болдог.

Салхины хэмжигдэх хурдыг тооцоолох нь

Одоо салхин дотор Ранкины хуй ажиглагдаж байх тохиолдолд салхины хурд ямар зүй тогтолын дагуу өөрчлөгдөхийг авч үзье. Хуй нь салхиар зөөгдөх учраас хуйн шилжих хурд нь салхины хэвтээ тэнхлэгийн дагуух шилжилтийн хурд v_0 -тэй тэнцүү байх нь тодорхой. Энэ тохиолдолд хэмжих багажид бүртгэгдэх салхины хурд ямар байхыг олж болно [9]. Салхи нь салхины хурдыг хэмжих E багажийг хамгийн их хурдтай тойргийнхоо $2\alpha_0$ төвийн өнцөгтэй хөвчөөр дайран гардаг гээ (Зураг 5). Тэгвэл салхины хурдыг хэмжигч багаж хуйн эргэлтийн тангенциал хурд v ба салхины шилжих хөдөлгөөний хурдны вектор v_0 -ийн вектор нийлбэр $u = v_0 + v$ -ийн модулийг хэмжинэ. Энэ векторын модуль буюу хэмжигдэх хурдны утга

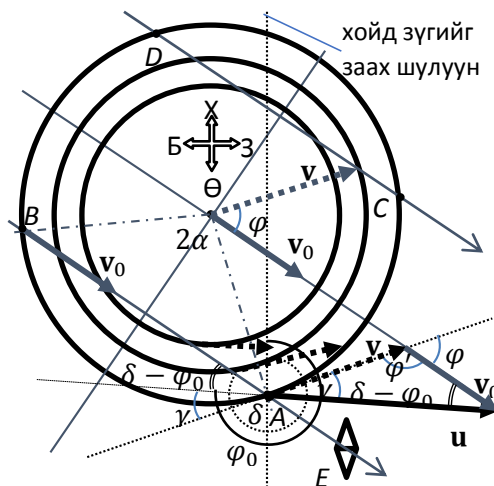
$$u = \sqrt{v_0^2 + v^2 + 2v_0v \cos \varphi}, \quad (9)$$

энд: φ -салхины шилжилтийн хурд ба хуйн эргэлтийн хурдны (тангенциал хурд) хоорондох өнцөг. Хэмжих багаж хуйн салхины чиглэлд хандсан тангенциал хурдтай байх хагаст (Зураг 5-ын A ба B цэгүүд тэмдэглэгдсэн хэсэг буюу доод хагас) орших хөвчийн дагууд шилжиж байгаа бол φ өнцгийн утга хөвчийн төвийн өнцөгтэй үргэлж тэнцүү $\varphi = \alpha$ байна. Харин хуй хэмжих багажийг салхины эсрэг чиглэлд хандсан тангенциал хурдтай байх хагасаараа

$$v = \begin{cases} \frac{V_R}{R} \sqrt{R^2 \cos^2 \alpha_0 + (v_0 t)^2} & \text{хэрэв } 0 \leq |t| \leq \left(\frac{R}{v_0}\right) \sin \alpha_0, \\ V_R R / \sqrt{R^2 \cos^2 \alpha_0 + (v_0 t)^2} & \text{хэрэв } (R/v_0) \sin \alpha_0 \leq |t| \leq (r_{out}/v_0) \sin \alpha', \\ 0 & \text{хэрэв } (r_{out}/v_0) \sin \alpha' \leq |t|. \end{cases} \quad (10)$$

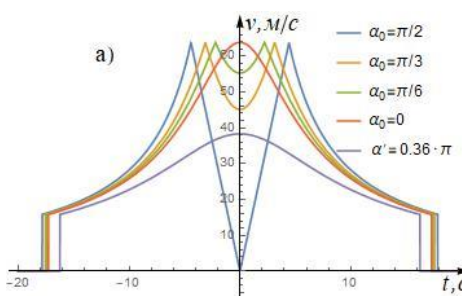
Хуйн төвтэй холбоотой тооллын системд хэмжигдэх хурд зөвхөн хуйн тангенциал хурдаар тодорхойлогдоно (Зураг 6а). Хуй хэмжих багажийг дайран өнгөрөх үед багажид хэмжигдэх хурдны утга янз бүрийн төвийн өнцөгтэй хөвчийн хувьд хугацаанаас хамаарч ямар байхыг тооцоолж Зураг 6б-д үзүүлэв.

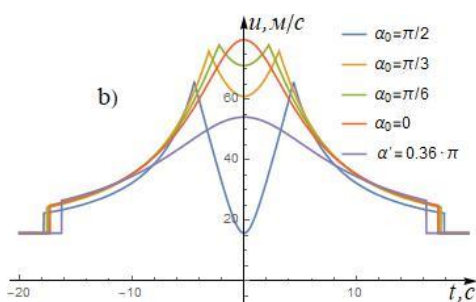
(дээд хагас) дайран гарч байх үед $\varphi + \alpha = \pi$ нөхцөл хангагддаг. Эндээс үзэхэд салхины хэмжигдсэн хурдны утга нь хэмжих багаж хуйн аль хөвчийн дагуу шилжиж байгаагаас хамаарч өөр өөр утгатай тодорхойлогдоно.



Зураг 5. Салхин дотор ажиглагдах хуйн ерөнхий дүрслэл (Энэ зурагт салхины хурдыг хэмжих багажийг E -ээр, салхины шилжилтийг сумтай шулуунаар, хуйг тойргуудаар дүрслэв. Салхины шилжилтийн явцад хуй нь хурд хэмжих багажийг α төвийн өнцөгтэй хөвчийн дагууд дайрна. Ертөнцийн зүг чигийг зургийн төвд тэмдэглэв).

Хурдны хэмжилт хугацаанаас хамаарч тодорхойлогддог учраас хэмжигдэх хурдны түгэлтийг бид хугацаанаас хамааруулан байгуулах асуудлыг авч үзье. Хуйн тангенциал хурдыг илэрхийлэх (8) илэрхийлэл нь хурдыг хуйн төвөөс тоолсон r зайнаас хамааруулан илэрхийлдэг. Үүнийг хугацаагаар илэрхийлэхийн тулд r -ийг хугацаа ба салхины хурдаар $r = v_0 t$ гэж илэрхийлж болно. Үүнийг (8)-д тооцвол хуйн тангенциал хурд хугацаагаар дараах хэлбэртэй илэрхийлэгдэнэ:





Зураг 6. Хуйн өөр өөр төвийн өнцөгтэй хөвчийн дагуух салхины хэмжигдэх хурдны түгэлт

- a) Хуйтай холбоотой тооллын систем,
b) Газартай холбоотой тооллын системд

Салхины хэмжигдэх чиглэл

Салхины чиглэлийг хойд зүгийг заах шулуунаас эхлэн цагийн зүүний дагуу тоолдог (Зураг 5). Хэмжигдэж байгаа салхины чиглэлийг зурагт φ_0 -оор тэмдэглэв (хойд зүгтэй харьцангуй). Багажид бүртгэгдэх салхины хурд нь хуйн тангенциал хурд ба салхины шилжилтийн хурдны вектор нийлбэр учраас салхины чиглэл энэ векторын чиглэлээр тодорхойлогдоно. Хуйн тангенциал хурдны чиглэл ба хэмжээ хугацаанаас хамаарч өөрчлөгдөх учраас нийлбэр векторын чиглэл хуйн хөвчийн дагууд шилжихэд үргэлж өөрчлөгдөнө. Иймээс салхины дотор хуй ирэх тохиолдолд салхины хурдны хэмжигдэх чиглэл нь хугацаанаас хамаарч тодорхой зүй тогтолын дагуу өөрчлөгдөнө. Энэ зүй тогтол хөвчийн дагууд ямар төрхтэй байхыг Зураг 5-ыг ашиглан олъё. Энэ зурагт бид жигд салхины чиглэлийг δ , хуйн тангенциал хурд ба салхины хэмжигдэх хурны хоорондох өнцгийг γ гэж тэмдэглэв.

A цэгийн хувьд (хуйн салхины чигт хандсан тангенциал хурдтай байх хагаст төвийн өнцгийг хоёр тэнцүү хуваах шулуунаас өмнө хэмжих багаж байрлаж байх тохиолдол) салхины хэмжигдэх чиглэл

$$\varphi_0 = \delta + \gamma - \alpha.$$

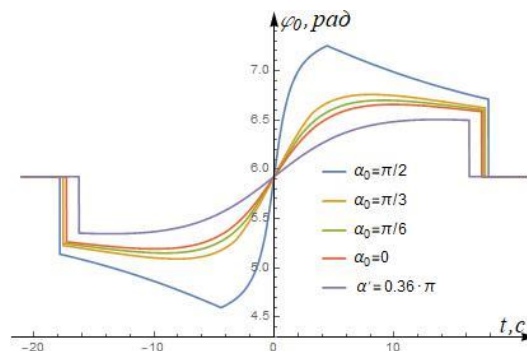
B цэгийн хувьд (хуйн салхины чигт хандсан тангенциал хурдтай байх хагаст төвийн өнцгийг хоёр тэнцүү хуваах шулуунаас хойно хэмжих багаж байрлаж байх тохиолдол) салхины хэмжигдэх чиглэл

$$\varphi_0 = \delta + \alpha - \gamma.$$

Эдгээрээс

$$\varphi_0 = \delta \pm |\alpha - \gamma|$$

байна гэсэн дүгнэлт гарч байна. Эдгээрээс үзэхэд хэмжигдэх чиглэл нь хэмжилт явагдаж байгаа цэг дээрх векторуудын харилцан байршлаас хамаарах нь харагдаж байна. Хуй хэмжих багажийг салхины чиглэлд хандсан тангенциал хурдтай байх хагасаараа (Зураг 5-ын



Зураг 7. Төвийн өнцгийн янз бүрийн утганд харгалзах хэмжигдэх чиглэл.

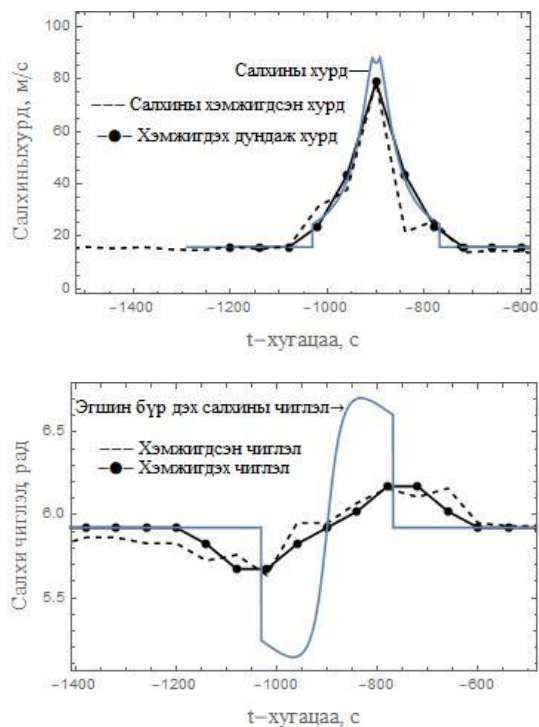
A ба B цэгүүд тэмдэглэгдсэн хэсэг буюу доод хагас) дайран гарч байх тохиолдолд хэмжигдэх өнцгийн утга өөр өөр төвийн өнцөгтэй хөвчийн дагууд хугацаанаас хамаарч ямар байхыг Зураг 7-д үзүүлэв.

Энэ загварыг ашиглан хуйн тангенциал хурд ба салхины хэмжигдэх хурдын хоорондох өнцөг γ болон хэмжигдэх хурд ба салхины чиглэлийн хоорондох өнцөг φ -г мөн хялбархан тооцоололон гаргаж болно. Эдгээр өнцгийн утгууд хэмжилтээр өгөгддөггүй. Гэхдээ бид салхины чиглэл φ_0 болон хэмжигдсэн хурдны утгыг ашиглан эдгээр өнцгүүдийг байгуулж болно.

ҮР ДҮН, ДҮГНЭЛТ

Өмнөх загварын хүрээнд салхины хурд, хуйн радиус болон хамгийн их тангенциал хурдны утгуудыг өгч салхины хурд ба чиглэлийн хугацааны эгшин бүр дэх өгөгдлийн санг байгуулж болно. Энэ өгөгдлөөс хугацааны тодорхой интервалаар дундажласан өгөгдлийг мөн байгуулж болох бөгөөд дундажлах интервал 1 минут бол энэ дундажлагдсан өгөгдөл яг салхины хэмжигдсэн хурд ба чиглэлийг өгнө. Ийм учраас салхины хурд, хуйн радиус, хөвчийн төвийн өнцөг болон хамгийн их тангенциал хурдны утгуудыг өөрчлөн өмнөх байдлаар дундажлан хэмжигдэх өгөгдлийг байгуулан түүнийг хэмжигдсэн өгөгдөлтэй жишин тохируулах замаар хурдны хэмжигдсэн

өгөгдлүүдийг байгуулж болно. Дундажлан байгуулсан энэ өгөгдөл салхины хэмжигдсэн өгөгдөлтэй тохирох хүртэл үүнийг үргэлжлүүлэн гүйцэтгэнэ.



Зураг 8. Салхины дотор хуй ирэх үеийн салхины хурд ба чиглэлийн тооцоологдсон ба хэмжигдсэн утгын хугацааны хувьсал ($v_0 = 73.2\text{ м/с}$, $\alpha_0 = \pi/12$, $R = 460\text{ м}$, $\delta = 339.42^\circ$).

Хэмжсэн хурдны өгөгдөлтэй тохирч байгаа байгуулсан өгөгдлийн хувьд анх сонгон авсан салхины хурд, хуйн радиус, дайран гарч буй төвийн өнцөг болон хамгийн их тангенциал хурд нь бидний олох ёстой салхины жинхэнэ хэмжигдэхүүнүүд юм. Ийм замаар байгуулсан өгөгдлүүд болон хэмжигдсэн өгөгдлийг нэг хавтгай дээр байгуулсныг Зураг 8-д үзүүлэв. Эндээс 15.82 м/с хурдтай салхины дотор 2119 м радиустай, хамгийн их тангенциал хурд нь 72.9 м/с утгатай хуй ажиглагдсан бөгөөд энэ нь хэмжих багажийг $\pi/12$ төвийн өнцөгтэй хөвчөөрөө дайран гарсан гэж дүгнэж болно. Эх газарт ийм хүчтэй хуй бараг ажиглагддаггүй гэж үздэг. Гэхдээ ийм хүчтэй хуй бүртгэгдсэн хэд хэдэн тохиолдлыг бид хэмжилтийн өгөгдлөөс илрүүлсэн болно. Энэ асуудлыг бид одоогийн загварыг арай нарийвчлан дараагийн судалгаанд тодруулан авч үзэх юм. Ингэснээр одоогоор тооцоолон гаргаж байгаа утгуудыг ч бас зарим талаар нарийвчлан тодорхойлогдох боломжтой болох юм. Энэ тооцооллын явцад ашиглагдах

салхины хурд ба чиглэлийг хэмжигдсэн өгөгдлөөс шууд тооцоолон авах илүү тохиромжтой байдаг. Энэ загварыг цагийн зүүний эсрэг эргэж буй хуйн хувьд мөн хэрэглэж болно.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Horton et. al, J. Geophys. Res. Atmos., 121, 7197, 2016.
- [2] Sinclair P.C, Journal of atmospheric sciences, 30, 1599, 1973. Sinclair P.C, Journal of applied meteorology, 8, 32, 1968.
- [3] Renno N.O et al., Journal of the atmospheric sciences, 55, 3244, 1998.
- [4] Cooley, J. R 'Dust devil meteorology'. NOAA Tech. Memo. NWS CR-42, National Weather Service, Silver Spring MD, USA, 1971.
- [5] N.A. Hawkes et al, 20th Australasian Fluid Mechanics Conference Perth, Australia 5-8 December 2016
- [6] Kanak, K. M, Q. J. R. Meteorol. Soc. 131, 1271, 2005.
- [7] O. Onishchenko et al. Ann. Geophys., 33, 1343–1347, 2015; Climate, 7, 12, 2019
- [8] Дундговь аймгийн Мандалговь станц (2009 оноос, MAWS)
- [9] Ж.Ванчинхүү нар, МУИС, ЭШБ, Физик, № 25 (478), 195, 2017.