

MOTORE, HELIZE ETA LEMA,

GAINDITZEAR

Andoni Sarriegi Eskisabel

Dagoeneko saiakuntzetan ari da eredu japoniarra eta

hemendik urte batzuetara urpekuntziak isiltasunik handienez ibiliko dira, itsasoko uraren eroankortasun elektrikoa iman super-eroaleen eraginez sortutako bulkada bidez ustiatuz. Bulkada magneto-hidro-dinamikoak (MHD deituak), itsasoko garraioan iraultza eragin ahal izango du.

JADANIK itsasoko uraren energia elektromagnetikoari esker oso urpekuntzi isil eta ankarrak motore eta inolako pieza higikorrik gabe egitea ez da fikzioa. Egon, oraindik ez dago horrelakorik eginda, baina oso aurreratutako azterlanak bai eta herrialde anitzetan gainera. Urte batzuen buruan, bulkada magneto-hidro-dinamikoari (MHD) buruzko aurkikuntzek sona handia hartu dute. Printzipio fisikoa berez, oso erraza da eta jada badaramatzate mende t^oerdi Irakaskuntza Ertaintan esplikatzen. Eroale elektriko bat hartu (kobrezko haria adibidez) eta eremu elektriko bat aplikatzen bazaio, haria korrante elektriko batek zeharkatzen du. Orain, murgil dezagun iman baten bidez sortu eta eremu elektrikoarekiko elkartzuta den eremu magnetikoan: bi eremu hauek elkarren artean duten eraginari esker, eroaleak bapatean indar elektromagnetikoa sortzen du Laplace/Lorenz-en legearen arabera, non indarraren norabidea gainera, eremu elektromagnetikoarekiko eta eremu elektrikoarekiko elkartzuta den. Kobrezko haria li-

brea bada, indar honek, desplazamendua eragin lezake.

Efektu honen baliamera, likido edo gas diren eroaleei ere aplikatu dakieke, eta itsasoko urari bereziki. Izan ere, ur gazia izaki, elektrozitatearen eroale bait da ur geza ez bezala. Ondorioz, itsasuntzi batek itsasoko uretan eremu magnetikoa eta eremu elektrikoa aldi berean aplikatzeko gailua duen ekiporik baldin badu, urak, Laplace/Lorenz-en indarra jasango du eta untzia desplazatu egingo da, hots,

MHD

**bulkada-sisteman,
bobinatuak eta
elektrodoak, kobrea
bera baino ere 1.000
aldiz eroalegoak
dira.**

aurrerantz higitzeko gai izango da! MHD deitu bulkada-sistema beraz, *erreakziozko bulkadadun* sistema da. Uretan eragindako indarrak, erreakzioz dihardu untzian.

Hori horrela izanik, pentsatu ere egingo duzu: *Horren gauza simplea bada, zergatik ez da lehenago pentsatu eta martxan jarri?* Bai. Pentsatu da, baina azterlanak berak ere, horixe aipatzen zuen 1960. urte inguruan kaleratu zenean. Izan ere, berorren emaitzak garai haietan edonori ere etsipena sortezteko modukoak izan bait ziren.

Itsasuntzientzako bulkada magneto-hidro-dinamikoari buruzko ikerlana deituriko lehenengo azterlana, 1962an idatzi zuen Phillips izeneko amerikar batek eta besteak beste, honelakoak adierazi zituen:

1) *Egungo indukzio magnetikozko bitartekoekin, sistemarik egokienak 600 oineko urpekuntzia 10 korapiloko abiadurara bulkatuko luke, % 8ko errendimendu elektrikoarekin. Errendimendu eta abiadura handiagoak lortzeko askoz ere eremu handiagoak behar dira.*

- 2) *Emaitza pobre honen arrazoia, itsasoko uraren eroankortasun txikia da.*
- 3) *Sistema honen errendimendu txarrak eta bulkada ahulak, beraz ez du bulkada-sistema legez erabiltzeko gai egiten.*

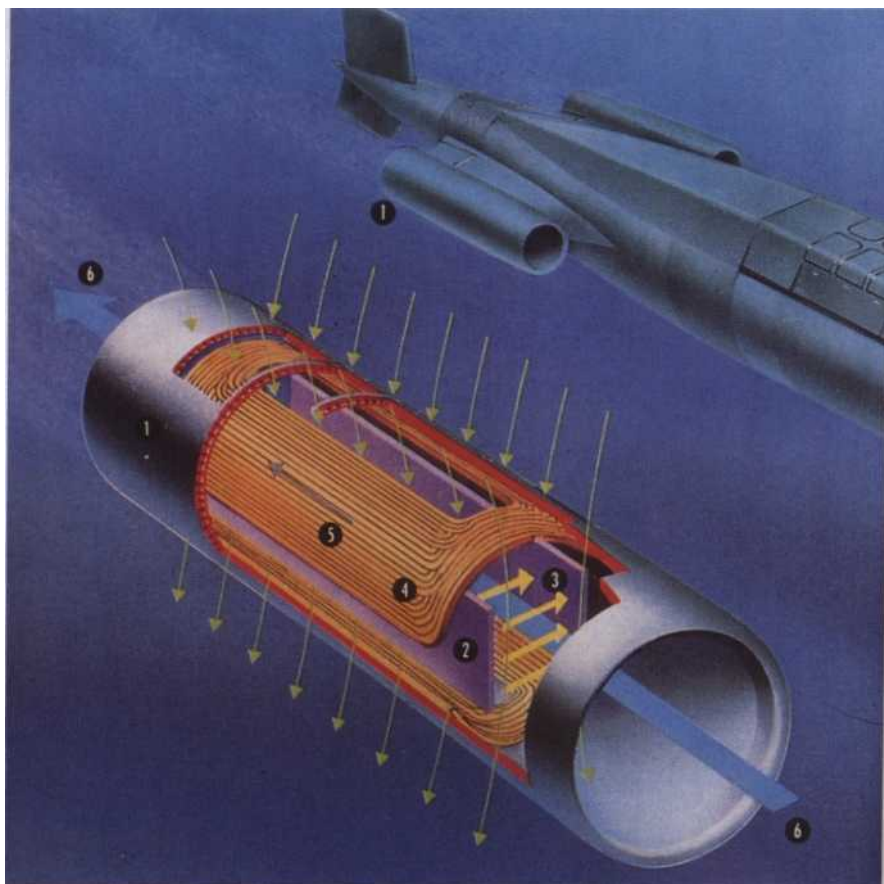
Itsasoko ura berez, elektrizitatearen eroale txarra da. Bere eroankortasuna kobreak baino hamar milioi aldiz txikiagoa da eta Phillipsek azpimarratu bezala, eragozpen hau konpentsatzeko, indar handiko eremuak behar dira, baina garai hartako bitartekoek ez zituzten eskaintzen. Gabezia tekniko hauek zirela bide edota kontserbakoikeriaz, ikerkuntzak eten egin ziren 1967rarte.

Urte batzuk igaro ondoren, berriro ere ekin egin zitzaion gaiari eta aztertzen jarraituz, superrero ankortasunak egundoko aurrerakada eman du. Bidean esan dezagun superreroaleak elektrizitateari zirkulatzeko ia batere erresistentziarik kontrajartzen ez dioten materialak direla eta kobreak berak onartutako korrante-dentsitateak baino milaka aldiz handiagoak ere onartzen dituztela. Gakoa-ren muina beraz, materiala zen.

Ildo horretatik, bobina superreroale bat elektroiman arrunta baino ehundaka aldiz eremu magnetiko handiagoa sortzeko gai da, eta gainera, Joule efektuagatik bero ketarik eta elektrizitate-gastu handirik izan gabe. Eremu magnetiko handi honek, MHD erako bulkada-sistema berriz aztertzea eragin du.

Amerikarrak izan ziren 1980.eko hamarkadaren hasieran bulkada-mota honi buruzko lan teorikoei ekiten lehenak. Beren ikerketak (Illinois-ko Argonpe laborategikoak besteak beste), Defentsa-Sailak ordaintzen ditu eta urpekuntzigintzan erabili nahi dituzte. Urpekuntzi militarrek adibidez, arazo erabakior baten aurrean daude une honetan: *isiltasunaren* menpe alegia.

Beren pieza mekaniko biratzailerak -motore, helize, ardatz eragile, eta abarrek- zaratak sortzen dituzte eta detekzio-sistemak identifikatu egin ditzakete. Helizearen biraketak adibidez, halako presio-murrizketa bat eragiten du inguruko gunen batean eta ura lurrindu egiten da. Hustasun-fenomeno honek zarata berezi, garrantzitsu eta identifikagarria ateratzen du eta oztopo gertatzen da MHD erako



1. irudia. Erreakziozko urpekuntzia.

Isiltasuna, lastertasuna eta erabilpen-arintasuna dira bulkada magneto-hidro-dinamikozko urpekuntziaren abantailak. Tutu erako bultzagailu bakoitzaren barnean (1) bi elektrodoak (2 eta 3) kontaktua dagoenetik, zeharkako eremu elektrikoa sortzen dute (gezi horiak) -ondorioz korrantea ere bai- eta tutu barruko itsasoko ur gazian. Bobina superreroaleak (4), korrante batez elikatuta (5) dagoen bitartean, eremu magnetiko bertikala sortzen du uretan (gezi berdeak), eremu elektrikoarekiko elkartut.

Bi eremu hauen elkarrekintzak, ahulki bada ere eroalea den itsasoko uretan Laplace/Lorenz-en indarra (6) sortzen du (eremu elektriko eta magnetikoarekiko aldi berean elkartuta dena) eta indar elektromagnetiko hauxe da ura atzerantz bultzatzen duena. Erreakzioz, urpekuntzia aurrerantz bultzatzen da.

MHD motako bulkada honek, "eroankortasunez eta barne-zirkulazioz" funtzionatzen du. Eroankortasunez, elektrodoei esker itsasoko uretan korrante elektrikoa sortzen duelako, eta barne-zirkulazioz, eremu elektriko eta magnetiko horiek itsasoko uretan tutu-barnean eragiten direlako.

bulkada-sistemarekin konparatuta; urpekuntzi baten interes guztia noski, helize eta pieza higikorrik gabeko funtzionamendu zeharo isila edukitzea bait da!

Isiltasuna ez da ordea, MHD erako bulkada-sistemaren kalitate bakarra. Bulkada-modu honek, teorikoki oso abiadura handitan ibiltzeko eta oso energi errendimendu onak lortzeko bidea eskaintzen du. Pieza mekaniko higikor oro, lema barne, kentzeko aukera teorikoa ematen du eta baita untzien errendimendu hidrodinamikoak hobetzeko ere.

MHD erako bulkada-sistema ez litzateke iharduera militarretan erabiltzera mugatu behar. Arlo horretan, oso garrantzitsua da japoniarren ekimena. Izan ere, azken aldian sozietate pribatu handiek finantzatuta oso gogor sartuak bait dira egitarau esperimental zibil batean. Kobe-ko Unibertsitateak, mota honetako bultzagailuen ekipu berri baten maketa egina dauka.

Sobietar izandakoak berriz, denbora luzez ari izan dira Riga-n (Letonian) likidoen MHD erako bulkada-arloari eskainitako ikerketazentru oso garrantzitsu batean la-



2. irudia. Ura muturretan hozten da.

Minutu-zatiño batean presioa jaitsi eta ura lurrindu egiten da 100°z azpitik. Presio baxuan, lurrinketa tenperatura baxuetan ere gertatu egiten da. Hauxe da helize batek abiadura handiz uretan biratzean bere gainazalean eragiten duena. Presioa izan ere, lurrin-burbuilak hotzetan sortzeko adina jaisten bait da. Hustasuna edo kabitazioa deritzo horri. Burbuila hauek, helizearen berezko soinua areagotu eta zarata berezia sortzen dute. Urpekuntziak ezinbestekoa duen isiltasuna kaltetuta gertatzen da.

pean. Orain guzti hori Letoniaren independentziarekin eta errepublika sobietarren krisi ekonomiko sakonarekin auskalo zertan den, baina ikasia bederen jakingo dute.

Frantzia ere ez dabil atzean. Bi urte baino gehiago daramatza talde txiki batek Grenoble-ko Mekanika-Institutuan lanean eta besteren artean, magneto-hidro-dinamikako aplikazio batzuen arloko lanak egin dira premia espazial (Hermes hegazkin espazial), industria nuklear, Madylam, fusio termonuklear, aplikazio metalurgiko (plasma), supereroale, elektrokimika eta gisako esparruetan. Frantziako iparraldeko Jeumont-Schneider industrial handiaren laguntza dute horretarako. Hasieran, Grenoble-ko talde hori, sintesi teorikoari buruzko lanak egiten ari zen; MHD erako bulkada-mota guztien azterketa zehatza egiten, alegia.

Baina gaira itzuliz, artikulua hasieran deskribatutako jatorriaren araberrako -eremu elektrikoa gehi eremu magnetiko elkartzuta, berdin Laplace/Loreni-en indar elkartzuta sortzea- *kondukziozko* bulkada deitua, ez da ahalbide bakarra eta badago bigarren bide bat ere, hots, *indukziozko* bulkadarena alegia.

Jakina denez, indukzio elektrikoa Faraday-k aurkitu zuen 1830. urte inguruan. Desplazatu edota balioz aldatuz doan eremu magnetikoak, gorputz eroale batean, korrante *induzitu* deitua sortertzen du. Beraz, indukziozko bulkada-sistema, lege honen aplikazioa baino ez da. Itsasoko uretan eremu magnetiko lerrakorra eragiten da forma egokiko bobina batean zehar korrante alternoa iragan eraziz. Eremu magnetiko horrek, *uhindu* egiten du bobinaia luzetara. Aldakorra denez, korrante induzituak sortzen ditu uretan eta eremu magnetiko/korrante induzitu biko-tearen arteko elkarrekintza, uretan egindako indar bilakatzen da, untziari aurrera eragiteko adina izate-ira iritsiz.

Laburbilduz, bi bulkada-moten arteko aldea honakoa da: kondukzio bidezko bulkadak, bi eremu bereizi erabiltzea -elektrodoek sortutako eremu elektrikoa eta bobina batek sortertzitako eremu magnetikoa- eta aldiz, indukziozko bulkadak, eremu elektrikoa eremu magnetiko lerrakor batek induzituia izatea eta elektrodorik ez izatea (Phillipsek ikertu eta hasieran aipatutako irtenbidea).

Kondukzio/indukzio alternati-ba-bikote honen beste galdera-sorta bat, ondorengo kontzeptu hauen ingurukoa da, hots: ea egin daitekeen itsasuntzi edota urpekuntzi bat MHD erako bulkadaz baliaturik funtzionatzeko; ea eremu magnetiko eta elektrikoa kaskoaren kanpokaldean sor ote litezkeen eta bulkada-indarrak ura untzian inguruan errebotaraziko ote duen; edota hori untzian zehar kanaletan ura iragan eraziz lor ote daitekeen edota kanal horretan zirkulatzen duen itsasoko urari aplikatzerik ba al dagoen.

Bi bideak kontuan hartuta, lau eratako bultzagailuak izan daitezke: kanpo-zirkulaziozko kondukziozkoak, barne-zirkulaziozko edo kanalezko kondukziozkoak, kanpo-zirkulaziozko indukziozkoak eta barne-zirkulaziozko edo kanalezko indukziozkoak. Lau era hauen ezaugarri eta ondorioak konparatu egingo ditugu eta lortutako emaitzen arabera eta bereziki premien arabera, hautapena egin ahal izango da.

Zer aukeratu, kondukziozkoa ala indukziozkoa?

Aukera bakoitzak bere abantailak eta desabantailak ditu eta dena eskaera jakinen baitan dago. Adibidez, indukziozkoak elektrodorik ez izatearen abantaila du, korrosio, elektrolisi eta mota horretako zarata-arazoak ekidinez (urpekuntziarentzat oso interesgarria, adibidez). Aldiz, indukziozkoak, oso zailak dira maniobratzen eta abiadura aldatu behar den bakoitzean ere, eremu magnetikoaren sinkronizazioa erregulatu beharra dago bere maiztasuna aldatuz, baina horrek errendimendua jaitsi lezake. Atzeramartxa ere oso gaitza dute indukziozkoek. Oro har malguagoa da azkenekoa, baina bere arazoak ere baditu. Beraz, kasuan kasuko irtenbidea bilatu behar.

Barne- ala kanpo-zirkulaziokoa?

Gaur egun konparatuta, barnekoak edo kanalekoak badi begibistako abantaila bat: errendimendu elektrikoak, kanal edo ubide-barnean barreiatutako

gainerako eremuen % 65-85 bitarteko maila har lezake. Errendimendu hau aldiz, askoz ere ahulagoa da untxiaren kanpoko eremuen arloan egiten denean. Izan ere, energia batez ere infiniturantz barreiatzen bait da, "itsasoa berotuz"... Bestalde, kaskotik apur bat urrunduz gero, eremu elektrikoa eta magnetikoa ez dira elkarrekiko elkartut mantentzen.

Kanal- edo hodi-zirkulazioak duen beste abantaila bat, isiltasunarena da eta arlo militarrean bederen oso estimatua da hau. Untxiaren kanpoko aldera igorritako eremu elektromagnetikoez, ezagutzen errazegia den seinalea igortzen dute. Barne-zirkulazioak ere badu ordea eragozpenik. Izan ere, untxia bultzatzen duen urak, kanalean edo hodian zirkulatzean, igurzeta edo marruskadura gehigarria jasaten du bustitako gainazal garrantzitsuenetan eta errendimendu hidrodinamikoa ere ez da hain ona sistema honetan.

Badirudi, errendimendu-kontsiderazioak nahiz erabilpen-sinpletasuna eta beste direla bide, kanaleko kondukziozko bulkada-sistema ekintza zibiletarako sustatu dela (aipatutako japoniarren txalupa lasterrean) eta aldiz, kanpo-zirkulaziokoa amerikarren urpekuntzi militarren frogetan eta Japoniako Kobe-ko Unibertsitatean izotzauslearen proiektuan, baina horrek ez du esan nahi indukziozkoa behinbetiko baztertua izan denik.

Egun, Kobe-ko unibertsitateko japoniarrek beren txalupa-eredu berriaren bigarren maketa azaldu dute (4. irudia) MHD erako bulkada-sistemaz hornitua, bakoitzak 6 sektore dituela, 2,5 m luze eta 25 cm-ko diametroarekin kanal edo hodi zilindrikoak osatuz. Bi elektrodo laun paralelo ditu eta eremu elektrikoa magnetikoarekiko elkartuta du, urak untxiaren luitara zirkulatuz. Hainbat sektore hautatu ahal izateak, eremu magnetikoaren efikazia hobereana lortzeko bide ematen du, eraztun erako kokapenak eremu magnetikoaren galerak murriztuz (4 tesla kanalen erdian).

Alderantziz, energia elektromagnetikoaren aurrerapen hau, errendimendu hidrodinamikoa bizkar egiten da. Izan ere, 6 kanalek beste horrenbeste bider biderkatzen bait dute bere barne-hormekiko marruskadura. Untxi hau, urgaineko untxietan MHD erako bulkadaren



3. irudia. Izotzausleek eta urpekuntziek MHD-ren erabilpenak ugaltu egin dituzte.

Japonian jada, MHD erako bulkadazko izotzauslearen proiektua dute. Untxiaren azala edo kaskoa, zilindroerdia da eta hiruzpalau bobina superreroale (1) daramatza 30°ko angeluez berezita. Bobina bakoitza, elektrodo-pare batekin muntatuta dago, anodo bat (2) eta katodo bat (3) dituela.

Bobinen jarreraren eta anodo-katodoen segidaren arabera, korronea elikatzen zaie eta elektrodoek kaskoaren ukitzaila diren eremu elektrikoak sortzen dituzte (gezi horia). Aldi berean, bobina superreroaledunek uretan sortutako eremu magnetikoak (gezi berdea), kaskoan izpi bidez ezagutzen dira, non beti ere eremu elektrikoekiko elkartutak diren. Ondorioz, Laplace/Lorenzen indarra ematen dute (4) eta beroriek itsasoko urari eragiten diote indar elkartut eta ontziaren ardatzaren norabidekoa, bere bidez ontzia aurrerantz bulkatuz. Urpekuntziaren kasuan ez bezala, kasu hau kanpo-zirkulazioko MHD erako bulkadazkoa da. Gisa honetako urpekuntzia ere, proiektuan dute Japonian.

eraginkortasuna frogatzeko eraiki dute, baina emaitza hobekak lortu beharko dituzte ekonomikoki interesgarri diren errendimenduak lortzekotan.

Amerikarrak ez dira gai izan oraindik beren urpekuntziaren maketatik pasatzeko. Urte batzuetan

zehar, azterlan teknikoak egin dituzte kondukzio erako bulkadari buruz kanaleko barne-zirkulazioarekin, baina irudi geometriko anitzekin. Elektrodo, eremu eta zirkulazioek oso irudikapen konplexuak dituzte. Mota bakoitzarentzako errendimendu eta emai-

Bulkada-sistema berriaren hiru errendimenduak

MHD bulkada-sistemaren teoria, ongi ulertuta dago eta kalkuluak jada behar bezain fidagarriak dira. Beronen errendimendua dituen parametro guztien arabera kalkulatzeko, elektromagnetismoko ekuazio guztiak, jariakinen mekanikakoak eta dinamikakoak sartzen dira. Sakonago jota ordea, arazoa, erdizka bederen, sinplifikazio batzuekin ere ebatz daiteke. Eredu magnetikoak adibidez, ez du untxiaren abiadurarekin zerikusirik, eremu hau espaziogunea eratzean konstantea ez izan arren.

Guztiko errendimendua, hots, untxiaren bulkada-indarraren eta berori darraion bulkada elektromagnetikoaren artekoa, hiru errendimendu partzialetan zatitzen da:

- Errendimendu elektrikoa:

Joule efektua dela eta gailu elektrikoak berotzeagatik izandako galerena, itsasoko uraren erresistentziarena eta zirkuituko osagaiena nahiz elektrolisiarena. Berau, likidoaren eroankortasunaren eta eremu magnetikoaren intentsitatearekiko proportzionala da. Orduan, iman superreroaleek, uraren eroankortasuna erraz konpentsatzen dute.

- Bulkada-errendimendua:

Urak kanalean edo hodian duen abiadura, bulkada-indarrez oro har ontziak daraman desplazamendu-abiadura baino handiagoa da. Diferentzia, bulkadan parte hartzen ez duten "marruskadurazko" indar-galerei dagokie.

- Errendimendu hidrodinamikoa:

"Biskositate-galerei", hots, uraren eta untxiko hormen artean izaten den marruskadurari dagokiona. Bulkada-errendimendua, ezaugarri fisikoen baitakoa da (irudi geometriko, dimentsio, eremu-intentsitate eta abarren baitakoa), baina baita funtzionamenduzkoen baitakoa ere. Emandako baldintzentzako maximoa da.

Adibidez, bulkada-errendimendua hobetzeko, kanal- edo hodi-geometria hobetu behar da, baina beste atalek ez dute eraginik. Bulkada-errendimendua, untxiaren abiaduraren baitakoa ere bada. Hodi-formak eta abar aldatzerik ez dagoenez, azken finean errendimenduak eskatutako ezaugarri teknikoak emaitzen arabera izan behar du.

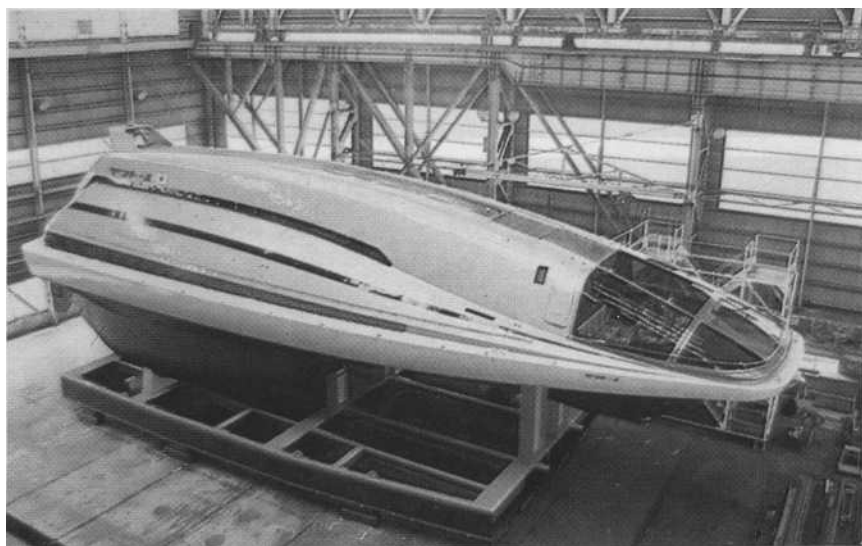
tzak jada kalkulatu daude. Untxi handientzako bulkgailua tunelean esperimentatzen ari dira. 15 m-ko luzera duena prestatua dute benetako urpekuntzi baten ezaugarriak bertan birsortzeko asmoz, baina

bulkgailua higieztina denez, ura da zirkulatzen duena. Dirudenez, eskala handian oraindik ez dute errentagan izaterik lortu. Adibidez, 200 m-ko luzera eta 15 bat m diametroko urpekuntzia 20 korapiloko

abiaduran higitzeko zenbait dozena megawatteko potentzia beharko litzateke eta hori ezinezkoa da. Beraz, oraindik badu zer hobeturik!

1986 inguruko aurkikuntzek eta superreroale berriek, potentzialki bederen MHD erako bulkada-sistemaren emaitzak hobetzen lagun dezakete. Material berriok (zeramikek, kobro-oxidoa oinarri dutenek, etab.ek) orain arte erabilitako aleazioek bezain tenperatura baxuak (-269°C) ez dituzte behar superreroankortasuna mantentzeko eta nitrogeno likidoa (-196°C) nahikoa dute, honek duen erabilpen-erraztasun eta kostu txikia alde dituela. Honek esplikatzeko du 1986an sortutako "super" berrien sona. Material hauek gaur egun nolana ere erabiltzeko bidea bada-goela dirudi. Zientzilariek ordea, itxarotea nahiago dute. Izan ere, lehentxeago edo geroxeago behar dutena iritsiko bait dute. Beraz, guzti honen garapena, superreroaleen esku gelditzen da hein handi batean.

Bitartean, gaurtik aurrera, MHD erako urpekuntzi eta txalupa lasterre esker, helioz hoztutako superreroale klasikoek dituzten ekipo berberak gai izango dira hemendik aurrera, beste superreroale eta hozte-metodo batzuekin, motoretzko ontziekin lehiatzeko.



4. irudia. Etorkizunik izango ote du MHD erako bulkada-sistemak? Txalupa japoniar honek, erantzunaren hasiera eman beharko du. 22 m luze, 10 m zabal eta 150 tonako pisuarekin, MHD erako bulkadadun urpekuntziaren teknika bultzatzailez hornituta dago "barne-zirkulaziozko kondukzioarekin". 6 kanal, 0,25 cm-ko diametrodunak, eta bakoitzean 2,5 m-ko luzeradun elektrodo-parea. Iragarritako bulkada-indarra, 8.000 N-ekoa da eta 10 korapiloko abiadura (18 km/h) du, barruan 10 bidaiari eramanez ditzakeelarik. Emaitza hauek oraindik behar baino kaskarragoak dira merkataluntxientzat, baina sistemak hobekuntzarik izan dezake... eta ziur aski izan ere izango du.