NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS HELYZETKÉP AZ ÁRAMLÁSTECHNIKAI GÉPEKKEL KAPCSOLATOS KUTATÁSOKRÓL

AZ ÁRAMLÁS- ÉS HŐTECHNIKAI GÉPEK AKADÉMIAI BIZOTTSÁG MEGBÍZÁSÁBÓL

CZIBERE TIBOR
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

FÜZY OLIVÉR, HAJDÚ SÁNDOR, NYIRI ANDRÁS és VAJNA ZOLTÁN
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSAI

[Beérkezett 1969. március 6-án]

A tudományos helyzetkép az áramlástechnikai gépekben kialakuló áramlás általános kérdéseiből (elméleti feltételek; tervezési, ellenőrzési és elméleti módszerek; üzemi viselkedés; alkalmazás) kiindulva részletesen taglalja az egyes áramlástechnikai gépfajták (örvényszivattyúk, vízturbinák, hidrodinamikus hajtóművek, ventillátorok, fúvók és kompresszorok egyedi kérdéseit). A helyzetképet a kiemelkedő külföldi szakirodalmi művekre vonatkozó, 162 címből álló bibliográfia egészíti ki.

I. Az áramlástechnikai gépekben kialakuló áramlás általános kérdései

A korszerű áramlástechnikai gépekkel szemben támasztott egyre fokozódó követelmények kielégítéséhez ma már elengedhetetlenül szükséges egyrészt az e gépekben kialakuló áramlás fizikai sajátosságainak a lehető legtökéletesebb megismerése, másrészt ezeknek az ismereteknek a konstrukciókban való messzemenő felhasználása. Erre a felismerésre vezethető vissza az, hogy az utóbbi másfél évtized alatt az áramlástechnikai gépek fejlesztésével kapcsolatos kutatási munkákban központi helyre kerültek azok az elméleti és kísérleti vizsgálati módszerek, amelyek e gépekben kialakuló háromdimenziós áramlás analízise útján a legkorszerűbb követelményeknek megfelelő géptípusok kialakítását célozzák.

A klasszikus folyadék-mechanika egydimenziós szemléletét és elméleteit felváltották a korszerű két-, illetve háromdimenziós elméletek. De még ezek sem képesek minden esetre kiterjedően felhasználni a határrétegelmélet és az ehhez kapcsolódó turbulencia-kutatás eredményeit; leggyakrabban az áramló közeget ma is *súrlódásmentesnek* tételezik fel. Vonatkozik ez különösen az áramlástechnikai gépekben lejátszódó jelenségek elméleti vizsgálatára.

Az áramlástechnikai gépek álló és forgó lapátrácsainak tervezésére és ellenőrzésére a korszerű, a valóságot a klasszikushoz képest lényegesen jobban közelítő szemléleten alapuló elméletek és számítási eljárások egész sorát fejlesztették ki világszerte. *Tervezési módszerek* azok, amelyek előírt áramlási peremfeltételek mellett a gép lapátozásának alakját és azon az elméleti sebesség- és nyomáseloszlást szolgáltatják. Az *ellenőrzési módszerek* adott lapátozás áramlástani jellemzőinek meghatározását célozzák.

A legutóbbi évek során kialakult elismert elméleti módszerek két fő csoportba sorolhatók: a *konform transzformációk* sorozatát, illetve a *szingularitások elvét* alkalmazók csoportjára. A fejlődés során először az előbbiek kezdtek el kialakulni, de ma is alkalmazzák ezeket elsősorban a távolkeleti (főleg japán) kutatók, különösen az ellenőrzési feladat megoldására. A szingularitások elvén alapuló eljárások főleg Európában kerültek előtérbe és alkalmazásuk mindkét feladatra általánosan elterjedt. Az elméletek fejlettsége folytán ma már valamennyi géptípus méretezésére, illetve ellenőrzésére lehetőség van. A módszerek inkább csak alkalmazhatósági korlátaik, pontosságuk és munkaigényességük tekintetében különböznek egymástól.

Sok helyen a gépek tervezésénél a rácselméleti számításokkal szemben különböző *rácskísérleti eredményeket* részesítenek előnyben. Különösen axiális gépek tervezésénél használnak fel ismert szárnyrács-sorozatokat. A jellemző paraméterek függvényében (rácsszög, íveltség, profilvastagság, rácssűrűség, megfúvási szög) széles tartományban végeznek szárnyrács-méréseket. A kimért profilrácsok felhasználásának az a nagy előnye, hogy a veszteség ismeretében a tervezett gép hatásfoka előre becsülhető, és az előírt tervezési pont az így méretezett járókeréknél általában nagyobb pontossággal érhető el, mint a tisztán potenciálelméleti megfontolásokon alapuló rácsszámításoknál.

Az áramlástechnikai gépek tervezése során szélesen elterjedt a *modellkísérleti* eredmények feldolgozása. A gépek üzemi paraméterei ez alapján történő meghatározására szolgáló ismert összefüggések azonban igen bizonytalanok. Sokfelé folytatnak alapvető kísérletsorozatokat főleg a veszteségekre és a hatásfokokra vonatkozó átszámítási képletek módosítására, de a léptékhatás kérdése ma sem tekinthető megoldottnak. Összehasonlító kísérleteket folytatnak különböző közegekkel történt mérési eredmények kapcsolatának tisztázására is.

Tekintettel arra, hogy a gépek üzemi viselkedésében a *járókerék előtti és mögötti áramlás* egyaránt alapvető szerepet játszik, egyre több kísérlet történik a járókereket megelőző és követő alkatrészek hidraulikai hatásának figyelembevételére a tervezési munkák során. A belépési viszonyok vizsgálata különösen a nagy jellemző fordulatszámú gépeknél jelentős.

Igyekeznek a járókerék és környezetének egymásra hatását vizsgálva a lehetséges kombinációk alapvető optimális paramétereit meghatározni. Többen vizsgálat tárgyává tették a járókerék előtti áramlásnak, mint peremfeltételnek szerepét, és igyekeztek a szívótér kialakítását, valamint a járókerék lapátozását összehangolni.

Egyfokozatú gépek járásának egyenletessége a *járó- és vezetőkerék lapátszámának* megválasztásától is függ. Elméleti vizsgálatok folynak a két rendszer instacionárius egymásrahatásának meghatározására, vizsgálják a radiális erők pulzációjának a lapátszámtól való függését. Az egylépcsős csigaházas gépeknél a csigaházban kialakuló áramlási viszonyok a gép hatásfokát nagy mértékben

befolyásolják. Összehasonlító vizsgálatokat végeznek ezért különböző geometriájú csigaházas kialakítások között.

Egylépcsős nyitott járókerekű axiálgépeknél vizsgálták a *réshatást* és azt tapasztalták, hogy bár a rések csökkentése a hidraulikai hatásfok és a stabilitás javulását, a nyomásszám növekedését vonta maga után, a nagyon kis rések könnyen lapátrezgésekhez és berágódásokhoz vezetnek.

A *kavitáció* témakörében kutatják a jelenség keletkezésének fizikai körülményeit. Zárt kísérleti kavitációs csatornákban nagyságrenddel kisebb kavitációs számokat állítanak elő, mint eddig. Eredményes kísérletek folynak a kavitáció és a kavitációs roncsolás mechanizmusával és a léptékhatás tisztázásával kapcsolatban.

Határrétegelméleti vizsgálatok terén a *lamináris határréteg* kérdése a számítógépek fejlődésével és elterjedésével gyakorlatilag megoldottnak tekinthető. A Navier—Stokes egyenletek ugyanis relaxációval megoldva a valóságnak megfelelő eredményeket adnak. A henger körüli lamináris áramlásban leváló örvények is számíthatók például ezen az úton. A *turbulens határréteg* problémája már sokkal nehezebb a turbulenciára vonatkozó ismereteink nem kielégítő volta miatt. E téren csak BURI és GRUSCHWITZ korábbi félempirikus számítási eljárásainak további tökéletesítése történt. A legújabbnak és legkorszerűbbnek FLESCH módszere tekinthető, amely a határréteg „előéletét" is figyelembe veszi. A számítás végrehajtása természetesen így lényegesen bonyolultabb, az eredmények azonban sokkal jobban egyeznek a mérési eredményekkel, mint a korábbi módszereknél.

A műszaki tudományok szempontjából igen fontos a *turbulenciaelmélet* alkalmazása, amelyre elsősorban az említett határrétegelméleti kutatásokban kerül sor. Az elért eredmények tekintetében rá kell mutatnunk SCHLICHTING munkásságára a turbulencia keletkezésével kapcsolatban; STUART munkásságára a hidrodinamikai stabilitás és a turbulencia alapjelenségeivel kapcsolatban, valamint KOVÁSZNAY, KOMODA és VASUDEVA vizsgálataira.

II. Az egyes áramlástechnikai gépfajták egyedi kérdései

Az áramlástechnikai gépeknek azt a csoportját, amellyel jelen tanulmány foglalkozik, általában a vízgépek és légtechnikai gépek osztályaiba sorolják. Az egyes gépfajtákkal kapcsolatos tudományos helyzetkép további részletezésénél az általánosan szokásos felosztást követjük.

1. Örvényszivattyúk

A szivattyúkkal kapcsolatos kutatások lényeges része a szívóképességre irányul. A *szívóképesség növelésére* a belépési sebesség csökkentése mellett elsősorban szívóképességet növelő előjárókerekeket javasolnak. Központi kérdés

a *kavitációs léptékhatás* vizsgálata. Igyekeznek figyelembe venni a folyadék és gőz határán fellépő felületi feszültségnek, a folyadék gáztartalmának, a folyadék mechanikai és kémiai szennyezettségének hatását. A járókerék előtti áramlási viszonyoknak a kavitációra gyakorolt döntő szerepét egyre jobban kihangsúlyozzák. Megállapították, hogy a belépőél környékén fellépő kezdeti kavitáció a jelleggörbét nem befolyásolja lényegesen, a kavitáció kezdete a belépőél közelében bárhol felléphet. Nem szükségszerű, hogy a kavitáció a belépőél legmagasabban elhelyezkedő pontja közelében kezdődjék. A kerék előtti áramlás iránya lényeges szerepet játszik és a belső résméret is kihat a kavitációra. Még ma sincs azonban feltárva, hogy milyen folyamatok játszódnak le a szivattyú szállítómagasságának hirtelen letörésekor. Továbbá kiderítetlen a különböző folyadékokra vonatkozó szívási körülmények kapcsolata, beleértve a különböző léptékhatások kérdéseit is. Ez lényegében azt jelenti, hogy a modell-szivattyúkon végzett kavitációs vizsgálatok eredményeit nem lehet teljes bizonyossággal a nagy kivitelre átvinni, különösen akkor, ha a modell és a nagy kivitel különböző folyadékot szállít. Minthogy a kifejlett kavitáció a szállítómagasság és a hatásfok csökkenését eredményezi, ezért általában csak kis kavitációt engednek meg.

Nagy jellemző fordulatszámú gépeknél új irányzat a *szuperkavitáló* szivattyú tervezése. Ebben az esetben olyan jellegű kavitációs jelenségről van szó, amelynek során a lapátfelületeken keletkező buborékok csupán a lapát mögött roppannak össze és így roncsolást nem okoznak. Az ilyen szivattyúk kis szívóoldali nyomásra is beépíthetők, ami a szivattyútelep építkezési költségeit csökkenti. A szuperkavitáló szivattyúk tervezése, mint lényegében új tervezési felfogás, még fejlődő állapotban van.

Közelítő összefüggéseket állítottak fel a *tárcsasúrlódás* meghatározására. A vizsgálatok azt mutatják, hogy kis átmérők és nagy fordulatszámok, illetve kis *Re* számok esetén a ház és a járókerék között viszonylag széles tér alkalmazása a célszerű.

Többen foglalkoznak a szivattyúk üzemi jellemzőinek és a *gyártási pontatlanságok* kapcsolatával. A vizsgálatok részben itt is szárnyelméleti módszerekre, részben pedig elkészített szivattyúk kísérleti összehasonlítására támaszkodnak. Itt az elméleti vizsgálatok a különböző gyártási pontatlansággal rendelkező szárnyrácsok áramlástani jellemzőinek meghatározására terjednek ki.

2. *Vízturbinák*

A korszerű szilárdsági méretezési módszerek alkalmazása révén (legtöbbször különböző szilárdsági kismintakísérletekre támaszkodva) az anyagok jobb kihasználása, ennek kapcsán egyes esetekben hegesztett szerkezetek használata, az anyagminőség javítása, vagyis az abszolút és fajlagos súly

csökkentése a kifejezetten megfigyelhető tendencia a vízturbinák területén Ugyanakkor fokozódnak a követelmények a turbina mechanikai rezgéseire és zajszintjére vonatkozóan is.

A *szárnyrácsok* méretezésénél általában a szivattyúhoz hasonlóan járnak el, Francis-turbináknál a vezetőlapátokról érkező víz örvényességét is kezdik figyelembe venni. Az egyes részcsatornákban tervezett lapátmetszetek járókerékké való egyértelmű összeillesztése azonban nincs még megnyugtatóan megoldva. Az elméleti számításokat itt is különböző szárnyrács-kísérletekkel egészítik ki.

Modellkísérleteket végeztek Pelton-turbinák levegőztetésére. Ha az alvízszint emelkedése miatt a járókerék víz alá kerülne, nyomás alá helyezik a turbinát, hogy a szabadfüggést biztosítsák. Vizsgálták a bekeverődéssel megszökő levegő visszanyerésének lehetőségeit is.

Erőművek és különösen kavernás erőművek kapcsán végeztek *nyomáslengés-vizsgálatokat.* Különösen figyelmet szenteltek a kavernás erőművek hosszú szívócsöveiben fellépő lengések és a géplengések közötti kapcsolat felderítésére.

A kavitációs erózió kísérleti kutatása a kavitációnak ellenálló anyagok viszonylag nagy választékát bocsátja rendelkezésre. A kísérlet és kutatás általában arra irányul, hogy a gép megfelelő áramlástechnikai kialakítással jó energetikai jellemzők mellett kedvező kavitációs tulajdonságokkal is rendelkezzék.

Az igen nagy vízerőművek szabályozásában egyre nagyobb szerephez jut az *elektrohidraulikus szabályozás* alkalmazása. E szabályozásokkal szemben egyre nagyobb követelményeket támasztanak mind a folyamatos üzemvitel (teherelosztás, frekvenciatartás), mind az indulás és védelem területén. Várható, hogy a közeljövőben az elektronikus digitális sebesség-szabályozók is alkalmazásra kerülnek, amelyek az előírt paraméterek ellenőrzését és azok tartását, illetve megadott program szerinti megváltoztatását képesek az egyes gépegységekre, sőt az egész erőműre is biztosítani.

A *gyakorlati célú kutatások* általában arra irányulnak, hogy a turbinagyártó vállalatok a lehető legkedvezőbb áramlástechnikai kialakítású — azaz optimális energetikai és kavitációs jellemzőjű — turbinatípusokkal rendelkezzenek, illetve repertoárjukat ennek megfelelően állandóan gyarapítsák. E tevékenység kiterjed mind a hagyományos Pelton-, Francis- és Kaplan-turbinákra, mind pedig az utóbbi évtizedben egyre gyakrabban alkalmazott csőturbinákra és tározós vízerőművek reverzibilis gépeire is. A növekvő teljesítmények miatt erőteljesebben foglalkoznak a hidraulikus erőhatások vizsgálatával (szabályozási erő és munkaszükséglet, bizonyos alkatrészek terhelésének meghatározása, erőhatások instacioner állapotban stb.) és ennek érdekében egyre mélyebben foglalkoznak szilárdsági kérdésekkel, elméleti és modellezési módszerekkel.

3. *Hidrodinamikus hajtóművek*

A *hidrodinamikus nyomatékváltókkal* kapcsolatos kutatások részben rácselméleti vizsgálatokra, részben pedig különlegesen nyomatékváltóval összefüggő kérdésekre terjednek ki. A gép meridiánmetszetének, továbbá az egyes lapátkoszorúk főméreteinek meghatározásánál az áramlás egydimenziós szemléletének alapján állva a meridiánsebesség integrálátlagával számolnak. Különböző eljárásokat dolgoztak ki a geometriai paraméterek meghatározására, különös tekintettel a gép várható jelleggörbéjének alakjára.

A lapátrácsok számítására a szivattyúknál és turbináknál alkalmazott szárnyelméleti módszereket használják. Ezzel kapcsolatban egyre inkább előtérbe kerül a szorosan egymásután következő lapátrácsok egymásra-hatásának elméleti vizsgálata, ami különösen a sok-lapátkoszorús nyomatékváltótípusok optimális áramlástechnikai kialakítása szempontjából lényeges. Vizsgálják a nyomatékváltóban az üzemállapot függvényében változó tengelyirányú erőket. Modellkísérletek során empirikus összefüggéseket állítottak fel, mert a *Re* számok azonosságának biztosítására általában nincs lehetőség és a hasonlósági törvények eltérését a teljesítményfelvételek beállításánál figyelembe kell venni.

Hidrodinamikus tengelykapcsolók tervezésében, szerkesztésében a kutatómunkák eddigi eredményei lehetővé teszik, hogy adott célra olyan tengelykapcsoló legyen készíthető, amely az előírt teljesítményt közelítőleg a szokásos 3% szlip mellett átviszi. A méretezés szinte teljesen empirikus, a már meglevő tengelykapcsolók jelleggörbéinek a segítségével történik.

4. *Ventillátorok*

A ventillátorok elméleti problémái és a számítási módszerek elvileg azonosak a szivattyúkéival. A valóságban azonban számos eltérés mutatkozik.

A ventillátorokat lapátozásuk szerint szokás osztályozni, így megkülönböztethető a hátrahajló, radiális és előrehajló lapátozású centrifugális, továbbá axiális és félaxiális ventillátor. Elvileg ma már valamennyi típus számolható, ha a szállított közeget összenyomhatatlansága mellett ideálisnak is feltételezzük. A határrétegelmélet eddigi eredményeit nem sikerült még forgó rácsokra kiterjeszteni. Éppen ezért az elvi számíthatóság ellenére az egyes típusoknál még igen jelentős, megoldatlan problémák találhatók.

Előrehajló lapátozású gépeket viszonylag nagy mennyiségi és nyomástényező esetén készítenek. A gépek jelentős többségükben szélesek, a lapátozás átmérőviszonya kicsiny. A lapátok tehát szélesek, rövidek és erősen íveltek. A nagy kilépő abszolút sebességek folytán a csigaház jelentősége megnő, továbbá a határréteg kifáradása és a szekunder áramlások kialakulása döntő szerepet játszik. A félaxiális gépek elterjedése még csak csekély múltra tekint-

het vissza. Itt nem utolsósorban a gyártási nehézségek okoznak jelentős problémákat.

Az axiális ventillátorok lapátrácsainak méretezése a repülőgépszárnymetszetekkel is kapcsolódó igen nagyszámú kísérleti anyag birtokában megoldott feladatnak tekinthető, ha a külső átmérő és az agy viszonya nem nagy.

Valamennyi centrifugális géptípusnál ma is kutatás tárgya a csigaház optimális alakja adott járókeréktípus és teljesítményadatok mellett. Sokszor ellentmondók a tapasztalatok a szívókúp és járókerék közötti rés kialakításával kapcsolatban. Nincs pontosan felderítve az egy és kétoldalt szívó gépek viselkedése közötti különbség oka sem.

5. *Fúvók és kompresszorok*

A ventillátorokhoz képest ezeknél a gépeknél az összenyomhatóság kérdésén túlmenően a szilárdsági szempontok is jelentős mértékben előtérbe kerülnek. Az elméleti méretezési módszereknek tehát ez utóbbit is figyelembe kellene venniük, amelyek a számításoknál további kötöttségeket jelentenek. A centrifugális járókerekeknél elkerülhetetlen a kettős görbületű (térbeli) lapátok kialakítása, ami az elméletieken túlmenően gyártási nehézségeket is okoz. Technológiai és szilárdsági problémák nemcsak a lapátozásnál, hanem az indítási viszonyok, tengelykapcsoló, tömítések, csapágyazás stb. területén is jelentősek. A világszerte alkalmazott néhány típus mellé újabbak kidolgozása igen jelentős elméleti és kísérleti munkát igényel, éppen a járulékos problémák megoldása miatt.

E gépfajtáknál igen általános a több fokozat alkalmazása a nagy nyomásviszonyok megvalósítása céljából, ami a járókerekek utáni visszaterelés problémáját veti fel centrifugális gépekben. A terelőlapátok elméleti számításához igen pontosan kellene ismerni a járókerék és terelőlapátok közötti térben az áramlás tényleges alakulását. Számos ilyen vizsgálat ellenére a visszaterelő lapátrács beállítása főleg kísérletekre támaszkodik. Ezek a kérdések is hozzájárulnak ahhoz, hogy világszerte csak néhány típus kialakítására törekednek, és a különböző feladatokat ezek geometriailag arányos nagyítása, illetve kicsinyítése révén oldják meg.

III. Az áramlástechnikai gépekre vonatkozó kiemelkedő külföldi szakirodalmi művek

1. ADDISON, H.: Centrifugal and other Rotodynamic Pumps; London 1955.
2. ADOLPF: Einführung in die Strömungsmaschinen; Berlin 1959.
3. ALBRING, W.: Strömungslehre; Dresden 1962.
4. ANDERSON, H. H.: Centrifugal Pumps; Sutton (Surrey) 1962.
5. *Асафв, В. А.—Барков, Н. К.:* Гидротурбины и их обслуживание; Москва 1965.
6. BARANOFF: Eine Methode zur Berechnung der instationären Kräfte; Braunschweig 1964.

7. BERANEK, L.: Acoustics; London 1954.
8. BERSHADER, D.: The Magnetodynamics of Conducting Fluids; Stanford 1959.
9. BETZ, A.: Einführung in die Theorie der Strömungsmaschinen; Karlsruhe 1959.
10. BETZ, A.: Hydro- und Aerodynamik; Göttingen 1927.
11. BIANCHI, L. W.—BÜSTRAAN, P.: Pompen (Leerbok ten dienste von Hagere Technische Scholen); Haarlem—Antwerpen—Keulen 1963.
12. BINDER, R. C.: Fluid Mechanics; New York 1955.
13. BIRKHOFF, G.—ZARANTONELLO, E. H.: Jets, Wakes and Cavities; New York 1957.
14. BRADSHAW, P.: Experimental Fluid Mechanics; New York 1964.
15. BÜCHI, G.: Le moderne turbine idrauliche, I—II; Milano 1957.
16. COLAK-ANTIÉE: Dreidimensionale Instabilitätserscheinungen; Heidelberg 1964.
17. COLEMAN, B. D.—MARKOVITZ, H.—NOLL, W.: Viscometric Flows of Newtonian Fluids; Berlin 1966.
18. COMOLET, R.: Mécanique experimentale des fluides, I—II; Paris 1961, 1963.
19. CURLE, N.—DAVIES, H. J.: Modern Fluid Dynamics; London 1968.
20. CSANADY: Theory of Turbomachines; New York 1964.
21. *Черкасский, В. М.—Романова, Т. М.:* Насосы, компрессоры, вентиляторы; Москва 1962.
22. DAVIES: Cavitation in Real Liquids; London 1965.
23. *Discussions Symposium on Cavitation Research Facilities and Techniques;* New York 1964.
24. DIXON: Fluid Mechanics Thermodynamics of Turbomachinery; London 1966.
25. *Дюнин—Борщевский—Лаковлев:* Основы механики многокомпонентых топоков; Новосибирск 1965.
26. DODGE, R.—THOMSON, M.: Fluid Mechanics; New York 1937.
27. DOMMASCH, O.—SHELY, S.—CONOLLY, T.: Airplane Aerodynamics; New York 1951.
28. DOOLITTLE: Mechanical Engineering Laboratory; New York 1957.
29. DORFNER, K. R.: Dreidimensionale Überschallprobleme der Gasdynamik; Berlin 1957.
30. DUMAS: Contribution a l'étude des spectres de turbulence; Paris 1964.
31. DUCROS, L.: Pompes hydrauliques et appareils élévatoires; Paris 1967.
32. ECKERT, B.—SCHNELL, E.: Axial und Radialkompressoren; Berlin 1961.
33. *Этинберг:* Теория и расчет проточной части поворотолопастних гидротурбин; Москва 1965.
34. FUCHSLOCHER—SCHULZ: Die Pumpen-Arbeitsweise, Berechnung, Konstruktion: Berlin 1955.
35. *Гийон:* Исследование и расчет гидравлических систем; Москва 1964.
36. GILBRECH, D. A.: Fluid Mechanics; London 1966.
37. GILLES, A.—HOPF, L.—KÁRMÁN, TH.: Aerodynamik und verwandte Gebiete: Berlin 1930.
38. GOLDSTEIN: Modern Developments in Fluid Dynamics, I—II; New York 1965.
39. GOODMAN, W.: Air Conditioning Analysis; New York 1947.
40. GRAHAM, F.: Audels Pump—Hydraulics Air Compressors; New York 1963.
41. GUDERLEY, K. G.: Theorie Schallnaher Strömungen; Berlin 1957.
42. *Grenzschichtforschung — Boundary Layer Research — Symposium;* Berlin 1958.
43. HARRIS, C.—CREDE, C.: Shock and Vibration Handbook; New York 1961.
44. HICKS, T. G.: Pump Operation and Maintenance; New York 1958.
45. HORLOCK, J.: Axial Flow Compressors; London 1958.
46. HUNT: Incompressible Fluid Dynamic; London 1964.
47. HUTAREW: Einführung in die Technische Hydraulik; Berlin 1965.
48. HÜRLIMANN: Untersuchungen über Strömungsvorgänge an Schaufelenden; Zürich 1963.
49. IMBACH: Die Berechnung der kompressiblen, reibungsfreien Unterschallströmung durch räumliche Gitter aus Schaufeln aus grosser Dicke und starker Wölbung; Zürich 1964.
50. ISAY: Propellertheorie; Berlin 1964.
51. JACOB: Berechnung durch Potentialströmung; Göttingen 1962.
52. *Юдин:* Шестеренные насосы; Москва 1957.
53. KALIDE, W.: Einführung in die technische Strömungslehre; München 1965.
54. KALKHOF: Mengenmessung von Flüssigkeiten; München 1964.
55. *Канторович, Б. В:* Насосы и воздуходувные машины; Москва 1956.
56. *Карелин, В. Я.:* Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах; Москва 1963.
57. KÁRMÁN, TH.—LEVI-CIVITA, T.: Hidro- und Aerodynamik; Berlin 1924.
58. KAUDERER, H.: Nichtlineare Mechanik; Berlin 1958.
59. KAYS—LAUDON, A.: Compact Heat Exchangers; New York 1958.

60. KELLER, C.: The Theory and Performance of Axial Flow Fans; New York 1937.
61. *Кириллов:* Теория турбомашин; Москва 1964.
62. KNUDSEN—KATZ: Fluid Dynamics and Heat Transfer; New York 1958.
63. KOTSCHIN—KIBEL—ROSE: Theoretische Hydromechanik; Berlin 1954.
64. KOVÁTS: Design and Performance of Centrifugal and Axial Flow Pumps and Compressors; Oxford 1964.
65. *Козлов—Баженов:* Предельная несущая способность элементов турбомашин; Киев 1965.
66. *Кривченко:* Автоматическое регулирование гидро-гидротурбин; Москва 1964.
67. KRUG: Flüssigkeitsgetriebe bei Werkzeugmaschinen; Berlin 1959.
68. LACHMANN, G.: Boundary Layer and Flow Control; Oxford 1961.
69. LADENBURG, R.—LEWIS, B.—PEASE, R.—TAYLOR, A.: Physical Measurement in Gas Dynamics and Combustion; New Yersey 1954.
70. JAGDISH et al.: Hydraulic Machines; Delhi 1965.
71. *Laminar Boundary Layers* (Ed. ROSENHEAD); Oxford 1963.
72. LANDAU, L.—LIFTSCHITZ, E.: Fluid Mechanics; London 1959.
73. LAZARKIEVICZ—TROSKOLANSKI: Pompy wirowe; Warszawa 1959.
74. *Лемберг:* Системы гидроавтоматики; Москва 1965.
75. LEVA, M.: Fluidizáció; Budapest 1964.
76. LEWITT, E. H.: Hydraulics and Fluid Mechanics; London 1959.
77. LI—LAM: Principles of Fluid Mechanics; London 1964.
78. LINDGREN, H.—JOHNSSON, G. A.: Cavitation Inception on Head Forms; Göteborg 1966.
79. *Логов, Л. М.:* Бескривошипные многоцилиндровые насосы; Москва 1963.
80. LOJCJANSZKIJ, L. G.: Folyadékok és gázok mechanikája; Budapest 1956.
81. *Лопаточные машины аппараты;* Москва 1966.
82. MAGILL, P.: Air Pollution Handbook; New York 1956.
83. MANOHAR, M.: Fluid Mechanics; London 1963.
84. MEDICI: Le pompe; Milano 1968.
85. MILNE—THOMSON, L.: Theoretical Hydrodynamics; London 1955.
86. NECHLEBA, M.: Hidraulic turbines; Prága 1957.
87. NILSSON, J. E.: On the Ideal Flow trough Axial Turbomachine, Cascades; Stockholm 1962.
88. NORRIE, D. H.: An Introduction to Incompressible Flow Machines; London 1963.
89. NUMACHI: Cavitation and Hydraulic Machinery; Sendai 1963.
90. OSWATITSCH, K.: Gasdynamik; Bécs 1952.
91. OUSIAUX—PERRIER: Mécanique des fluides, I—II; Paris 1966, 1967.
92. PAI, S.: Viscous Flow Theory; Van Nostrand 1957.
93. PANZER—BEITLER: Arbeitsbuch der Ölhydraulik; Mainz 1965.
94. PARANPJE: Monte Carlo Approach to the Flow Problems; Zürich 1963.
95. PARKUS, H.: Instationäre Wärmespannungen; Bécs 1959.
96. PEERLESS: Basic Fluid Mechanics; London 1967.
97. *Певзнер:* Судовые центробежные и осевые насосы; Ленинград 1964.
98. PFLEIDERER, C.—PETERMANN, H.: Strömungsmaschinen; Berlin 1964.
99. PFLIER: Elektrische Messung mechanischer Grössen; Berlin 1948.
100. PIPPENGER—HICKS: Industrial Hydraulics; New York 1962.
101. PIPPENGER—KOFF: Fluid-Powe Controls; New York 1959.
102. *Полушкин, Н. П.:* Автоматическое регулирование гидротурбин; Ленинград 1967.
103. *Пономеренко-Рогов:* Радиалне поршневые; Москва 1964.
104. POPE, A.: Wind Tunel Testing; New York 1954.
105. POPOV, S. G.: Strömungstechnisches Messwesen; Berlin 1958.
106. PRANDTL, L.: Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchanstalt zu Göttingen; München 1921—1932.
107. PRANDTL, L.: Führer durch die Strömungslehre; Braunschweig 1965.
108. PRANDTL, L.—TIETJENS, O.: Hydro- und Aeromechanik; Berlin 1931.
109. *Проскура, Г. Ф.:* Гидродинамика турбомашин; Киев 1954
110. REINER—ABIR: Second—Order Effects in Elastycity, Plasticity and Fluid Dynamics; Oxford 1964.
111. RICHTER, H.: Rohrhydraulik; Berlin 1954.
112. RITTER, C.: Flüssigkeitspumpen; Leipzig 1953.
113. ROBINSON: Basic Fluid Mechanics; New York 1963.
114. ROUSE, H.: Engineering Hydraulics; New York 1950.
115. *Розанов—Веременко:* Исследование гидромашин и гидротехнических сооружений; Москва 1968.

116. SAUER, R.: Einführung in die theoretische Gasdynamik; Berlin 1943.
117. SCHLICHTING: Grenzschicht-Theorie; Karlsruhe 1965.
118. SEARS, W.: General Theory of High Speed Aerodynamics; New Yersey 1954.
119. SEDOV: Two-Dimensional Problems in Hydrodynamics and Aerodynamics; New York 1965.
120. SHAMES, I. H.: Mechanics of Fluids; New York 1962.
121. SCHOLZ: Aerodynamik der Schaufelgitter; Karlsruhe 1965.
122. SHAPIRO, A.: The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid; New York 1954.
123. SHEPHERD, D.: An Incroduction to the Gas Turbine; London 1950.
124. SHEPHERD, L. G.: Principles of Turbomachinery; New York 1957.
125. SHERCLIFF, J. A.: The Theory of Elektromagnetic Flow-Measurement; Cambridge 1962.
126. SHERWOOD, W.: Aerodynamics; New York 1946.
127. SILVESTER: Hydraulics and Fluid Mechanics; Oxford 1964.
128. SINCLAIR, J.: Water in Mines and Mine pumps; London 1958.
129. SOKOLNIKOFF, I. S.: Mathematical Theory of Elasticity; New York 1946.
130. SOKOLNIKOFF, I. S.: Tensor Analysis — Theory and Applications; New York 1960.
131. SOUTHWELL, R. V.: Relaxation Methods in Theoretical Physics (Vol. 21); Oxford 1962.
132. STEPANOFF: Centrifugal and Axial Flow Pumps; New York 1948.
133. STEPANOFF: Pumps and Blowers — Two Phase Flow; New York 1966.
134. STEPANOFF: Turboblowers; New York 1955.
135. STREETER, V.: Fluid mechanics; New York 1962.
136. STREETER, V.: Handbook of Fluid Dynamics; New York 1961.
137. *Symposium on Cavitation Research Facilities and Techniques;* New York 1964.
138. *Седов, Л. И.:* Плоские задачи гидродинамики и аеродинамики; Москва 1950.
139. *Техническая гидродинамика;* Москва 1965.
140. Тепловые напряжения в элементах турбомашин. Доклады наичнава совешания, Киев 1962.
141. TIETJENS, O.: Strömungslehre; Berlin 1960.
142. TIMOSHENKO, S. P.—GOODIER, J. N.: Theory of Elasticity; New York 1936.
143. TRAUPEL, W.: Die Theorie der Strömung durch Radialmaschinen; Karlsruhe 1962.
144. TRAUPEL, W.: Thermische Turbomaschinen; Berlin 1966.
145. VALLENTINE, H. H.: Applied Hydrodynamics; London 1959.
146. VAN DYKE: Perturbations Methods in Fluid Mechanics; New York 1964.
147. VARLET, H.: Turbines Hydrauliques et Groupes Hydroélectrique; Paris 1964.
148. VAVRA, M.: Aero Thermodynamics and Flow in Turbomachines; New York 1964.
149. VOIGT, J.: Grundlagen der Hydraulik (Eine Einführung in die Probleme der Ölhydraulik); Berlin 1962.
150. VON DER NUELL, W. T.: Kreiselpumpen und Verdichter; Stuttgart 1957.
151. *Вещинин, А. Й.—Савич, И. Ф.:* Гидравлические и пневматические устройства на строительных дорожных машинах; Москва 1954.
152. WALLIS, R.: Axial Flow Fans; London 1961.
153. WALZ, A.: Strömungs- und Temperaturgrenzschichten; Karlsruhe 1966.
154. WEHRSCHÜTZ: Kritische Betrachtung der Modellgesetze; Graz 1964.
155. WEINIG, P.: Die Strömung um die Schaufeln von Turbomaschinen; Leipzig 1935.
156. WESTERGAARD, H. M.: Theory of Elasticity and Plasticity; New York 1952.
157. WILKINSON: Non-Newtonian Fluids; London 1960.
158. WISLICENUS, G. F.: Fluid Mechanics of Turbomachinery, I—II; New York 1965.
159. WUTZ, M.: Theorie und Praxis der Vakuumtechnik; Braunschweig 1965.
160. *Зайченко, И З.—Мышлевстий:* Лопасные насосы и гидромоторы; Москва 1964.
161. ZENZ, F.: Fluidization and Fluid Particle Systems; New York 1960.
162. *Жуковский:* Аеродинамический расчет потока в осевых турбомашин; Ленинград 1967.

Stand der Strömungstechnik. Der wissenschaftliche Überblick erörtert, ausgehend von den allgemeinen Problemen (theoretische Bedingungen; Konstruktions-, Kontroll- und theoretische Methoden, Verhalten im Betrieb; Anwendung) der in den strömungstechnischen Maschinen entstehenden Strömung, die individuellen Probleme der einzelnen strömungstechnischen Maschinenarten (Kreiselpumpen, Wasserturbinen, hydrodynamische Antriebe, Lüfter, Gebläse und Kompressoren). Den Überblick ergänzt ein Schrifttum, das 162 Titel von hervorragenden ausländischen Werken der Fachliteratur umfaßt.

Situation Report on Fluid Technique. The scientific situation report thoroughly treats the individual problems of the specific types of machines (centrifugal pumps, water turbines, hydrodynamic drives, fans, blowers and compressors) based on fluid technique, starting from the general problems of the flow developing in such machines (theoretical conditions; designing, controlling and theoretical methods, behaviour in operation; application). The situation report is completed by a bibliography embracing 162 references of outstanding foreign technical literary works.