

養液栽培システムの改善に関する研究 (I)
—吸気ノズルの吸気特性—

岩尾俊男・房 薇・林 圭腕・竹山光一・藤浦建史・浅尾俊樹

Studies on the Improvement of Aquaculture Systems (I)
— The Performance of Dissolved Oxygen Suppling Nozzle —

Toshio IWAO, Wei FANG, Gyuwan IM, Kouichi TAKEYAMA
Tateshi FUJIURA and Toshiki ASAO

Abstract The objection of this study was to obtain high drawing air performance and the simplifying of the nozzle in order to put it to practical use.

As the main experimental results, the drawing air rate into water was gradually increased with the increase of the water flow rates. Though the rate of drawing air from an air inlet in the nozzle increased with the increase of the cross section of air inlets, the bubbling phenomenon in the nozzle was not always.

As the optimum condition of the nozzle for practical use, the water flow rate, nozzle length, number of injection port, diameter of air inlet and diameter rate of outlet/inside of the nozzle were in the range of 0.4-0.5m³/h, 80-100mm, 3-4, 2mm and 0.5 respectively.

Key words: Oxygen suppling nozzle; drawing air rate; bubbling phenomenon.

緒 言

養液栽培用吸気ノズルとして、現在用いられている網を用いた泡沫式ノズルは、比較的水の流量が少ない条件下においては、栽培に十分な空気の吸込量が得られる。しかし、使用される網の目開きが小さく、砂及び浮遊物(切断根、塵等)による目詰りの生じることが指摘されている。ノズルの網の目詰りは、供給される水と養液への酸素供給量を著しく低下させ、作物の生育に支障を生じる原因となる。

従って、システム管理者は、栽培期間中しばしばノズルの網目の掃除を行う必要があり、非常に煩わしい仕事になる。これらのことから、空気吸込量が多く、かつ作物の生育に十分な酸素が供給でき、その上簡単な機構のノズルの開発が望まれる^{1) 2)}。

岩尾らの研究は^{3) 4) 5)}ノズル内でミキシングショックを起こさせることによって、空気吸込量が増大されることを明らかにしたことに基づいて、本研究は、ノズル内

の水の泡立つ条件を検討し、空気吸込ノズルの改善とその設計資料を求めるために、空気吸込特性に関係する要因(ノズル長、ノズル内径、ノズル排水口径、空気吸込穴径、噴口数、噴口総断面積及び流量)と空気吸込量との関係を明らかにしたものである。

実 験 方 法

1. 実験装置

実験装置は、①タンク、②ポンプ、③圧力計、④流量計、⑤ノズル、⑥空気吸込量調節部、⑦風速計より構成される(図1参照)。図2は供試ノズルの概略である。

供試ノズルは、水がノズルの噴口から空気室に噴出されるとき、空気室の負圧により空気がノズルの中に吸い込まれる構造になっている。

2. 実験方法

空気吸込量は、ノズルの内容積(内径、長さ)、排水口径、噴口の形状(穴総面積、穴数、穴径)、空気吸込穴径及び流量に影響されるものと考えられる。

従って、実験は、ノズル内径、ノズル長、排水口径、空気吸込穴径、噴口総断面積、噴口数と流量との組み合わせ

房 薇：鳥取大学大学院連合農学研究科生産環境工学講座

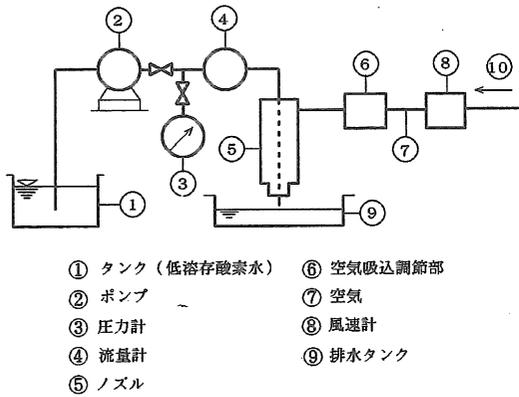


図 1 実験装置

表 1 実験条件と測定項目

実験条件			
名称	記号	供試範囲	備考
水流量 (m ³ /h)	H	0.2-1.2	
ノズル長 (mm)	L	35-230	⑤
噴口穴数 (個)	N	1-4	③
噴口断面積 (mm ²)	S	40	②
空気吸込孔径 (mm)	F	1-7	①
排水口径 (mm)	Hi	10-21	④

測定項目		
名称	記号	供試範囲
バブル長 (%)	Ba	1-100
空気吸込量 (m ³ /h)	Li	0-3.5
溶存酸素量 (ppm)	DO	1-6

実験結果及び考察

1. 流量と空気吸込特性

図 3 は、噴口総面積40mm²、噴口数 3 個、ノズル長230 mm、ノズル内径38mmの場合の流量と空気吸込量との関係である。

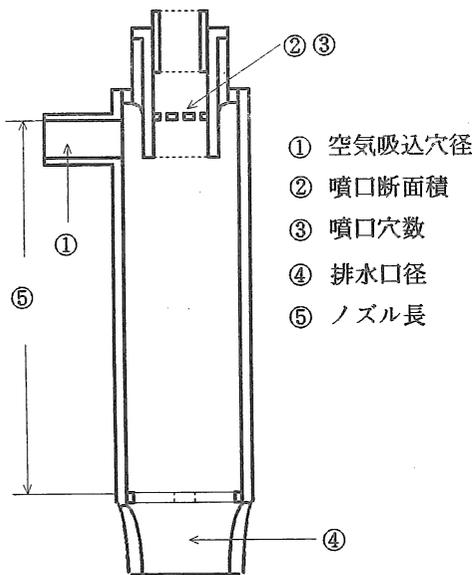


図 2 供試ノズル

わせにより行った。表 1 は、実験条件と測定項目を示す。また、空気吸込孔径の交換部はノズルの空気吸込口と空気吸込量測定部を結びビニール管の途中に設けた。

空気吸込量の測定は、空気吸込ビニール管 (内径10mm) にマノメータのセンサー部を差し込んで行った。

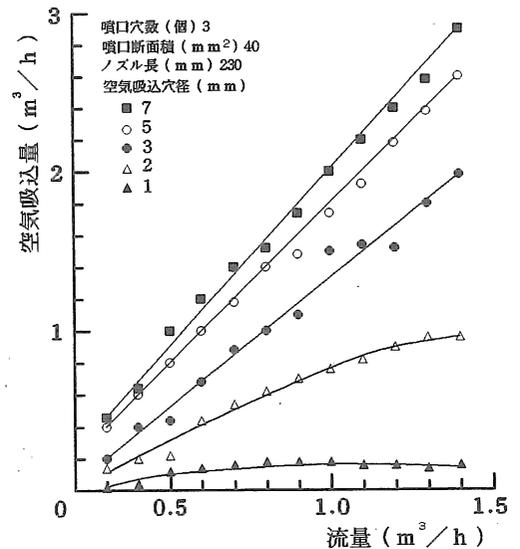


図 3 流量と空気吸込量との関係

空気吸込量は、流量の増加に従い増加する傾向があり、特に空気吸込孔径が 7mm においては、その増加の割合が

顕著となる。一般に、空気吸込穴径が大きい場合には、空気吸込量は、流量の増加と共に増大するけれども、この場合には、ノズル内で空気と水の混合は起り難い。

すなわち、これらの状態はノズル内で水の泡立つ現象(バブル現象)が起らない範囲である。この原因は、空気吸込穴径が大きくなると、流量が増加してノズル内流速が増加してもノズル内の負圧が増大しないために、ノズル内の水流の抵抗も増大しないと考えられる。

一方、空気吸込穴径が比較的小さい範囲(1-3mm)の場合には、ノズル内の泡立つ現象が起り始める流量は、空気吸込量が急激に増大する現象の変曲点と一致する。空気吸込穴径が1mm, 2mm, 3mmの場合、空気吸込量が急激に増大する流量は、それぞれ約0.5, 0.6, 1.0m³/hであり、ノズルの全長にわたりノズル内で泡立つ現象が確認された(図4参照)。この現象は空気吸込量を増大させ、溶存酸素量の増大となるものであろう。

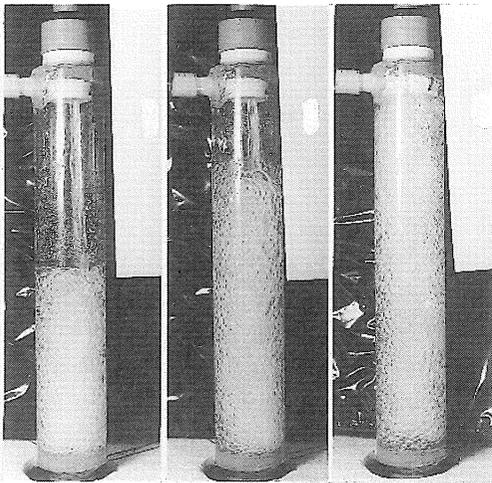


図4 バブル発生

しかし、空気吸込穴径が極端に小さい時には、バブル現象がノズル全長に及ぶと共に空気吸込穴の中までに達し、空気吸込量は減少の傾向となる。

以上から、空気吸込量の増加を計る方法としては、流量を増加させることが考えられる。しかし、流量の増加は設備費、維持費等の増加となり、経済的な観点から判断すれば最善の方法とは言い難い。従って、現在利用されている流量の範囲(0.4-0.5m³/h)において、バブル現象となる条件での利用を計ることが必要であろう。

2. ノズル長と空気吸込特性

図5は、噴口総面積40mm²、噴口数3個、空気吸込穴径2.5mm、ノズル内径38mmの場合、ノズル長と空気吸込量との関係である。

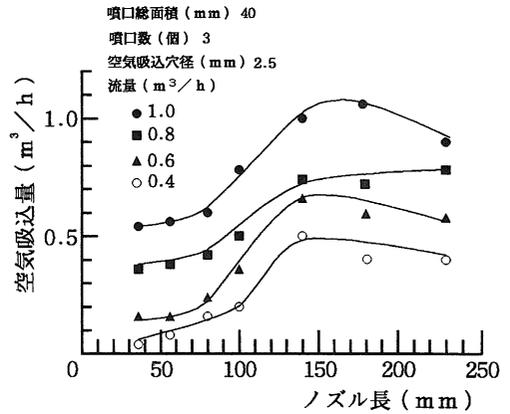


図5 ノズル長と空気吸込量との関係

空気吸込量は、ノズル長の増加と共に増加し、ピーク値を示した後低下の傾向となる。そして、空気吸込量が最大になるノズル長は、流量の増加と共に長くなる傾向となる。また、空気吸込量がピーク値を経て低下する原因は、ピーク値の状態ではバブル長がノズル全長に達し、ノズル内での負圧が小さくなったために、空気の吸込量が減少した結果であると考えられる。

以上のことから、ノズル長は空気吸込量に影響する一つの要因であると考えられる。

空気吸込量の改善を計る観点からすれば、ノズル長の増大が考えられるが、ノズル長の増加は、給水システムのコスト増加となる。従って、現在一般に利用されている流量を対象とするとき、比較的大きい空気吸込量を維持できるノズル長は、100mm程度と考えられる。

3. 噴口総面積と空気吸込特性

図6は、ノズル長230mm、穴数5個の場合の噴口総面積と空気吸込量との関係である。

空気吸込量は、噴口総面積の増加に従い減少の傾向となる。その減少の傾向は、空気吸込穴径が小さい場合より大きい場合の方が顕著である。空気吸込穴径の比較的大きい場合における、噴口総面積の増加による空気吸込量の減少の理由は、噴口よりノズル内に噴出される流速の低下によるノズル内負圧の減少であると考えられる。

一方、吸込孔径の小さい場合には、噴口総面積の増加による空気吸込量の減少は小さい。これらは、ノズル全長にわたってバブルが発生している状態にあるので、空気吸込量においても、大きな変化がないものと考えられる。しかし、流量が大となりバブルが全長に及んでいる時には、噴口総面積の増加によってもバブル長の減少が認められない場合もある。この傾向は、流量が0.8m³/h程度以上の範囲に生ずる現象である。

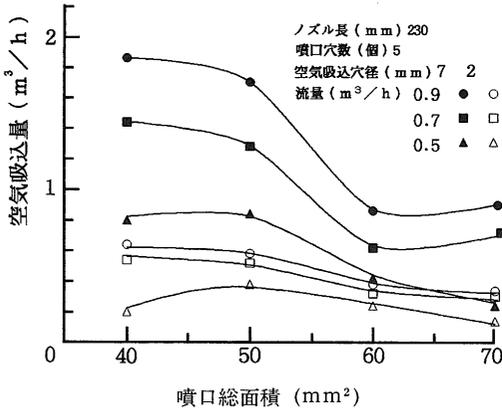


図 6 噴口総面積と空気吸込量との関係

一般に、噴口総面積が増加によるバブル長の減少の原因は、噴口総面積の大となれば噴流の流速が低下し、ノズル内の負圧の減少によるものであろう。この傾向は、またバブル長の減少と一致する。

以上のことから、この場合最適と考えられる噴口総面積は、約40mm²であると考えられる。

4. 噴口数と空気吸込特性

図 7 は、ノズル長230mm、流量0.7m³/h、噴口総面積40mm²の場合の噴口数と空気吸込量との関係である。

噴口数が一つの場合では、空気は吸込は起らない。しかし、噴口数の増加に従い、空気吸込量は増大し噴口数が3個において最大の値となる。噴口数による空気吸込量の変化は、流量及び噴口からの水の流出状態等が関係しているものであろう。

以上のことから、噴口数3個、噴口孔径が4mm程度において、安定した高い空気吸込量が得られるものと考えられる。この条件では、大部分の浮遊物及び砂が噴口穴を通過することから、ノズルの詰まりが生ずることはないものと考えられる。

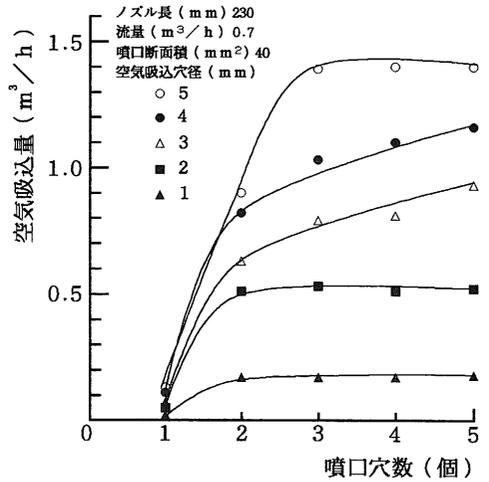


図 7 噴口穴数と空気吸込量との関係

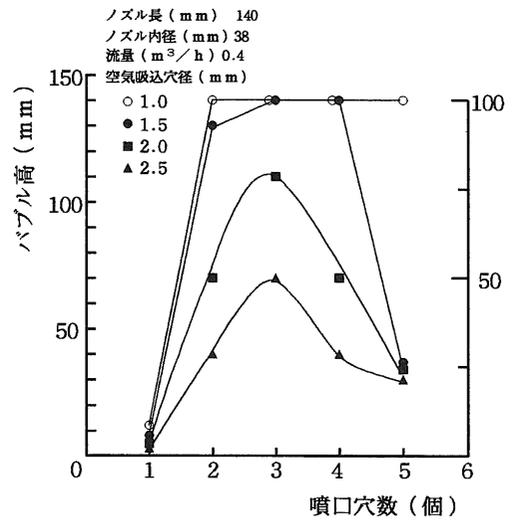


図 8 噴口穴数とバブル高

また、バブル長は噴口数の増加と共に増大するが、ピーク値を経て減少する傾向がある。特にこの傾向は、空気吸込孔径が1.5mm以上において顕著に現れる(図8)。

噴口穴数が1個の場合においてバブル現象が起らない原因は、ノズル内を一条の流れとなって噴出される噴出水が直接排出口から流出されることによるものである。一方、バブル長は、空気吸込孔径が1.5mm以上では噴口穴数が4と5個の場合に減少する。これは噴口よりノズル内に噴出される水が、穴数の多いために分散されず、一条の水の状態に類似の傾向となることに原因がある。

従って、噴口数増加は必ずしもバブル長の増大にはならないことが明らかになった。

以上のことから、噴口数は3個が最適であろうと判断される。

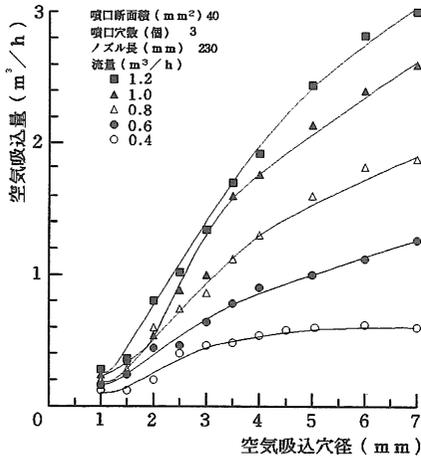


図9 空気吸込穴径と空気吸込量との関係

5. 空気吸込穴径と空気吸込特性

図9は、ノズル長 230mm, ノズル内径38mm, 噴口総面積40mm², 噴口数3個の場合, 空気吸込穴径と空気吸込量との関係である。

空気吸込量は、空気吸込穴径の増加と共に増加の傾向となる。また、空気吸込量は流量が大きいくほど増加の傾向が著しい。空気吸込量が変動する位置は、流量の増加と共に空気吸込穴径の大きい値に変化する。従って、空気吸込穴径の利用範囲は、空気吸込量が急激に変化する近傍の穴径であると予想される。これらの条件下では、ノズル内でのバブル現象が確認された(図10)。

一般に、バブル長は空気吸込穴径の増大により、急激に減少する傾向がある。空気吸込穴径が1mmにおいては、バブル長はノズル全長に達するが、空気吸込穴の中にバブルがあふれる傾向となることから、バブル長に対するノズル長の割合は90%程度の値が適当であろう。この結果から、空気吸込穴径は2mm程度と考えられる。

このバブル現象は、噴口より噴出された水がノズル底面に当たり跳ね返り、ノズル排出口からの水の流出を妨げる結果、ノズル底面に滞留した水を噴出した水が打つことにより起こるものである。また、バブル長は、ノズル内に滞留した水の重力と空気吸込穴より吸い込まれる

空気の抵抗力との釣り合いにより生じるものである。従って、空気吸込穴径は、バブル現象を起こさせるための重要な要因である。

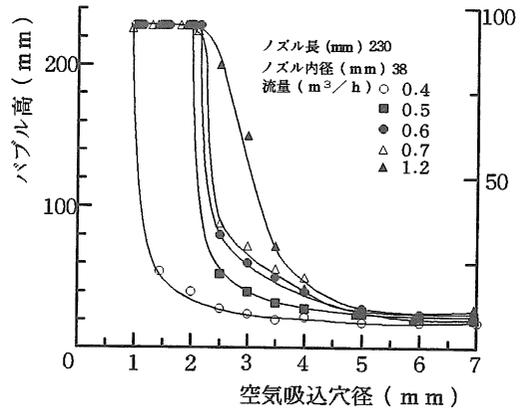


図10 空気吸込穴径とバブル高との関係

これらのことから、空気吸込穴径を大きくした場合には、空気吸込量は増大するけれども、ノズル内の負圧が少なくなり、バブル現象が起こり難くなる。

6. ノズル内径と空気吸込特性

図11は、ノズル長140mm, 流量0.6m³/h, 排水口径21mm, 噴口断面積40mm², 噴口数3個の場合のノズル内径と空気吸込量との関係である。

空気吸込量は、ノズル内径の増加と共に増加し、ノズル内径が30mm以上では、その増加は著しく大となる。すなわち、ノズル内径の増加により空気吸込量を改善させることが可能と考えられるが、極端に大きくすることは、

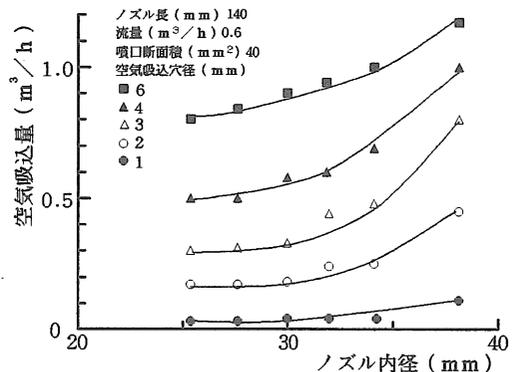


図11 ノズル内径と空気吸込量との関係

加工及びコストの観点から避けることが望ましい。これらのことから、ノズル内径は35-38mmが適当であろう。

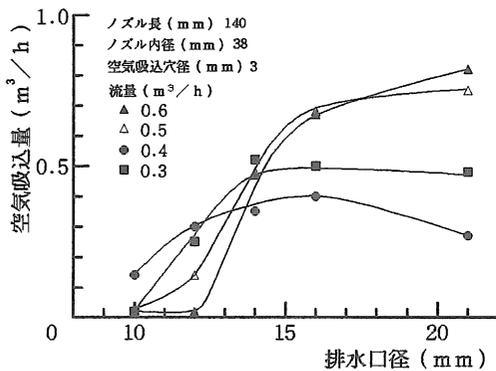


図12 排水口径と空気吸込量との関係

7. 排水口径と空気吸込特性

図12は、ノズル長140mm、噴口総面積40mm²、噴口数3個、空気吸込穴径3mmの場合、排水口径と空気吸込量との関係である。

空気吸込量は、排水口径の増大と共に増大し、ピーク値を経て減少する傾向にある。流量が0.3-0.4m³/hの範囲では、空気吸込量は排水口径が14-16mmの範囲で大となる。

一方、排水口径が10-12mmの場合では、空気の吸込は全く起こらない。これは、排水口における水の流出抵抗が大となり、空気吸込穴に水が逆流することによるものである。また、排水口径が大きくなると、ノズル内の水の滞留が減少し、空気吸込口からの空気吸込量は減少する。

図13は、ノズル長55mm、ノズル内径26と30mmの場合、排水口径と空気吸込量との関係である。これは実用化を対象にノズルサイズを利用可能な限り縮小した場合の性能である。

空気吸込量は、排水口径の増大と共に増加し、16mmにおいてピーク値となり、その後減少する。排水口径が21mmにおいて零になる。これらは、前述の場合と同様にノズル内での水の滞留の有無によるものである。

以上のことから、最適な排水口のサイズ選択は、ノズル内での水の滞留、すなわち水の淀む現象を促進させる役目を果たす上に、バブル現象をもたらす空気吸込量の改善にも役立つことが明らかになった。

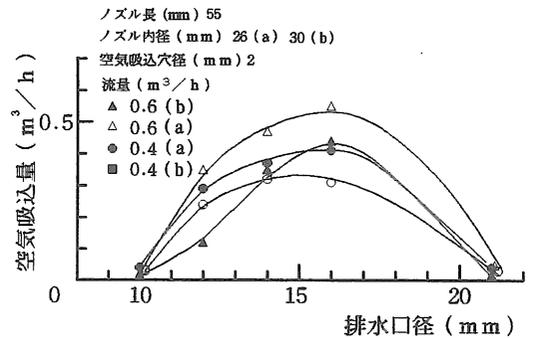


図13 排水口径と空気吸込量との関係

摘 要

この研究は、水耕用の吸気ノズルにおいて空気吸込量の向上と共にノズル内で水の泡立つ条件を検討し、網の目詰まり防止を目的とし、空気吸込特性の向上について行ったものである。

実験結果の主なものは次のとおりである。

(1) 空気吸込量は、流量の増加に従い増加する傾向があり、バブル現象が生じ始める流量は、空気吸込量が急激に増大する変曲点に一致する。

(2) バブル現象は、初期にはノズル底面から流量の増加と共にノズル全長に達する。この現象は、養液中に空気を混入させる一つの目安と考えられる。

(3) 適当な排水口の選択は、ノズル内での水の淀む現象を促進させる役目を果たす上に、バブル現象をもたらす空気吸込量の改善にも役立つことが明らかになった。

(4) ノズルの実用化からの観点からすれば、ノズルの設計条件は、流量0.4-0.5m³/h範囲で、ノズル長100mm程度、噴口穴数3-4個、空気吸込穴径2mm、排水口径/ノズル直径0.50程度が最適であると考えられる。

引用文献

- 1) 大河内信夫・榎田正治・浅平 端, トマトの水耕密植栽培の育苗時における培養液温と培養液に対する酸素供給が苗の生育と果実生産に及ぼす影響. 生物環境調節, 16: 119-128, 1978.
- 2) 岩尾俊男・竹山光一・伊藤憲弘, 水耕用吸気ノズルに関する研究. 島根大農研報, 22: 143-148, 1988.
- 3) 岩尾俊男・林 圭脛, 水耕栽培用吸気ノズルに関する一

- 考察. 農機学会関西支部報, **65**: 66-69, 1989.
- 4) WITTE, J. H., Efficiency and design of liquid-gas ejectors. *British Chemical Engineering*, **10**: 602-607, 1965.
- 5) SPIRDOV, E. K., Rational length of the mixing chamber of a water-air ejectors. *Thermal Engineering*, **29**: 400-402, 1982.