

**Орган Министерства пищевой промышленности СССР и Центрального правления  
научно-технического общества пищевой промышленности**

УДК 664.1.053

## **Испытания вакуум-аппарата с гидродинамическим усилением циркуляции**

**В. Т. ГАРЯЖА, Ю. Г. АРТЮХОВ,  
В. И. ПАВЕЛКО, В. Р. КУЛИНЧЕНКО**

КТИПП

**Г. Я. ПУЗИКОВ, М. И. ТИМКОВСКИЙ  
А. К. СТРАУТНИЕК**

Елгавский сахарный завод

**А. К. СУЩЕНКО, А. Ф. КРАВЧУК**

ВНИИСП

**А. И. КОЧУБЕЙ, Э. А. КОВАЛЬЧУК**

ПТП «Сахпромэнергоналадка»

**В. З. ШАПРАН, В. Д. СЫЧЕВ**

Укрниипродмаш

**Б. А. ГУРСКИЙ, Н. А. МАКАРЕНКО**

Смелянский машиностроительный завод

Согласно договору о творческом содружестве между коллективами Киевского технологического института пищевой промышленности, Елгавского сахарного завода, Всесоюзного научно-исследовательского института сахарной промышленности, производственного-технического предприятия «Сахпромэнергоналадка», Украинского научно-исследовательского и конструкторского института продовольственного машиностроения и Смелянского машиностроительного завода в течение 1972 – 1975 гг. ведутся совместные работы по созданию, испытанию и внедрению вакуум-аппарата с усиленной гидродинамическим способом циркуляцией, оснащенного автоматической системой контроля и регулирования процесса уваривания утфелей. На основании экспериментальных исследований и анализа известных методов вдувания газа или пара разработан способ гидродинамической интенсификации уваривания утфелей, заключающийся в следующем:

вдувание газа или пара осуществляется струями с такой скоростью, которая позволяет разрушить снарядно-поршневое течение пароут-фельной смеси в кипятильных трубах;

струи вдуваемого газа или пара направлены так, чтобы их эжектирующее воздействие на утфель создавало как можно больший дополнительный движущий напор;

в распределительной камере поддерживается давление значительно большее, чем в кипятильных трубах, что способствует равномерному распределению вдуваемого газа или пара;

распределительная система выполнена таким образом, чтобы она не создавала гидравлических сопротивлений в контуре циркуляции утфеля.

Были разработаны две конструкции устройства для усиления циркуляции утфеля путем вдувания газа или пара внутрь каждой кипятильной трубы. Одна из них камерного типа, изготовленная, Смолянским машиностроительным заводом в 1972 г., установлена в новом вакуум-аппарате Ж-4-ПВА и испытана на Ходоровском сахарорафинадном комбинате [1]. Вторая конструкция коллекторного типа разработана сотрудниками КТИППа и Елгавского сахарного завода и изготовлена в его мастерских.

Обе конструкции прошли промышленные испытания в 1972—1975 гг.

Для испытаний устройства коллекторного типа на Елгавском сахарном заводе был выбран вакуум-аппарат, схема подключений которого позволяла уваривать в нем утфели I, II, III продуктов свеклосахарного производства и, IV продукта при переработке тростникового сахара-сырца. Этот вакуум-аппарат вместимостью 250 гл имеет двухкамерную греющую поверхность из латунных труб диаметром 89/83 мм и длиной 2155 мм в центральной малой камере (в количестве 62 шт.), 1550 мм – в большой камере (в количестве 228 шт.). Общая площадь поверхности нагрева 126 м<sup>2</sup>. Кипятильные трубы в аппарате расположены по сторонам правильного шестиугольника.

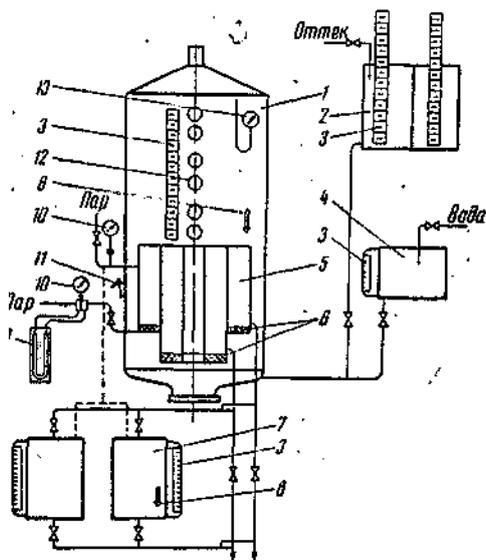


Рис. 1. Схема вакуум-аппарата для усиления циркуляции.

На рис. 1 представлена схема, на которой изображены вакуум-аппарат 1, сборники оттеков 2 с уровне-мерными линейками 3, специальный бачок 4 с уровнемером для определения объема водных подкачек. К подвесной греющей камере 5 снизу вплотную к рорванду прикреплено устройство 6 для усиления циркуляции утфеля (путем вдувания пара). Объем конденсата, образующегося в греющей камере, определяли мерными бачками 7 с уровнемерами и термометром 8. На трубопроводы вдуваемого пара установлена сужающаяся нормальная расходомерная диафрагма с ртутным дифманометром 9. Давление вдуваемого и греющего пара измеряли манометрами 10. Через прободотборник 11 отбирали пробы утфеля для лабораторных анализов. Температуру утфеля измеряли термометром 8, установленным над верхней трубной решеткой в области нисходящего потока утфеля. Через зрительные стекла 12 с помощью уровнемерной линейки определяли объем утфеля в вакуум-аппарате. Вакуумметр 13 измеряли разрежение в аппарате.

Устройство 6 для вдувания пара в кипятильные трубы выполнено в соответствии с расположением их в греющей камере. Между рядами кипятильных труб 1 (рис. 2) вплотную к нижней трубной доске 2 проложены коллекторные трубы 3 диаметром 20 мм с приваренными к ним глухими патрубками 4 диаметром 10 мм и толщиной стенки 3 мм – по одному против каждой кипятильной трубы. В каждом таком патрубке просверлено по одному отверстию диаметром 0,8—1,0 мм, ось которых направлена под углом 15° к стенке кипятильной трубы. Общий коллектор и трубопроводы вдуваемого пара выполнены из труб диаметром 50 мм; таким образом, площадь сечения подводящих труб более чем в 10 раз превышает общую площадь сечения всех отверстий. Коллекторы и патрубки расположены так, что не препятствуют проходу утфеля в кипятильные трубы.

Система автоматического контроля и регулирования разработана лабораторией кристаллизации ВНИИСПа. Проект установки автоматизации вакуум-аппарата, ее изготовление и монтаж выполнены ПТП «Сахпромэнергонадка». Установка предусматривает контроль и регулирование разрежения в вакуум-аппарате, контроль температуры увариваемого продукта, измерение расхода конденсата, измерение и регулирование расхода поступающих продуктов на уваривание и уровня утфеля в аппарате.

Проведение опытных варок и обработку данных выполняли в соответствии с методикой, разработанной в лаборатории кристаллизации ВНИИСПа.

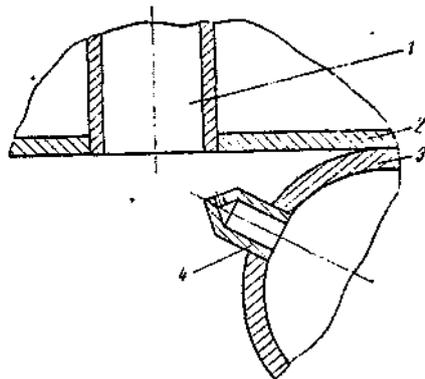


Рис. 2. Схема расположения коллекторов и патрубков для вдувания пара в кипятельные трубы.

Экспериментальные варки проведены без вдувания и с вдуванием пара при увеличивающихся давлении и расходах вдуваемого пара. Результаты экспериментов в виде изменения наиболее характерных параметров в процессе уваривания представлены на рис. 3, 4, 5.

Снижение коэффициента теплопередачи  $K$  (рис. 3) к концу уваривания перед каждой подкачкой обусловлено повышением термического, сопротивления увариваемого продукта при сгущении и увеличении его количества в аппарате. Кроме того, некоторые колебания значений  $K$  были связаны с нарушениями режима уваривания. Как видно из рис. 3, для каждого из уваривавшихся продуктов коэффициент теплопередачи выше при вдувании пара, чем в контрольных варках.

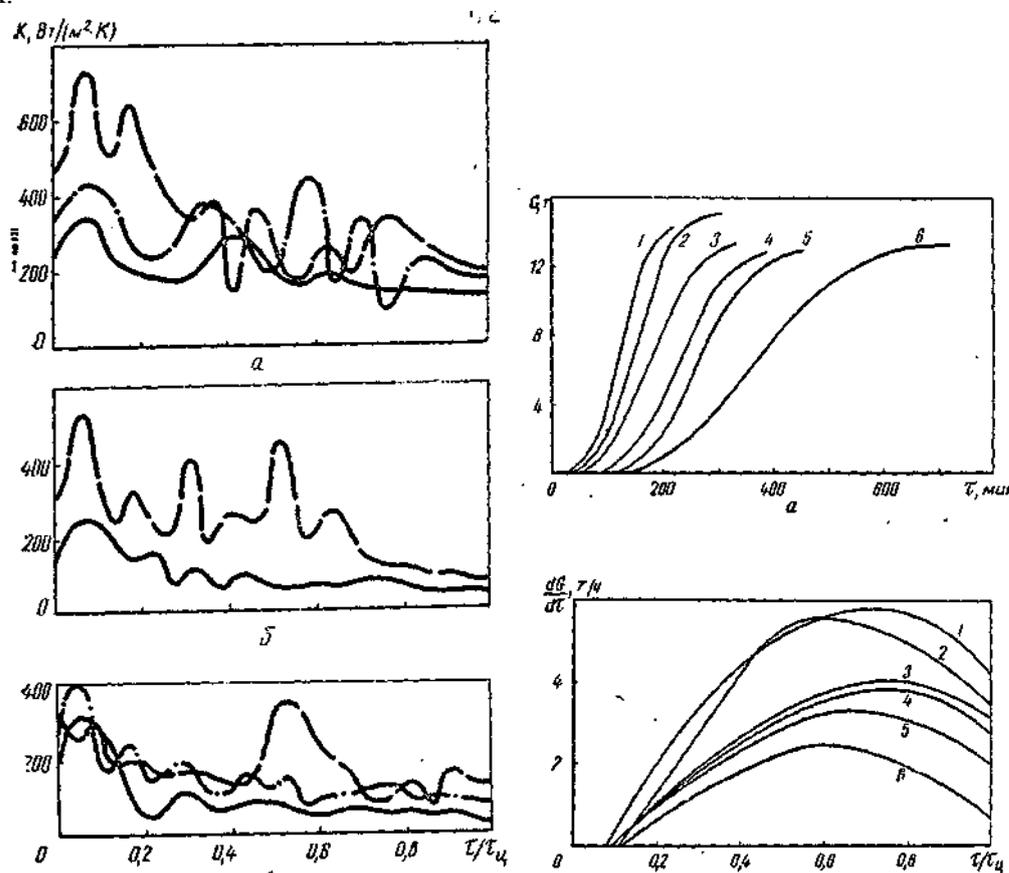
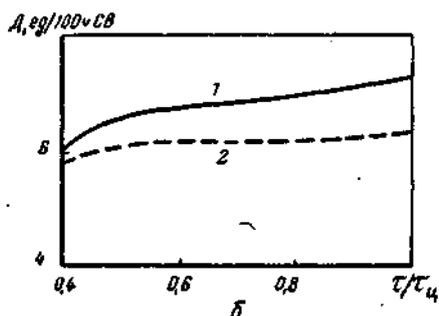
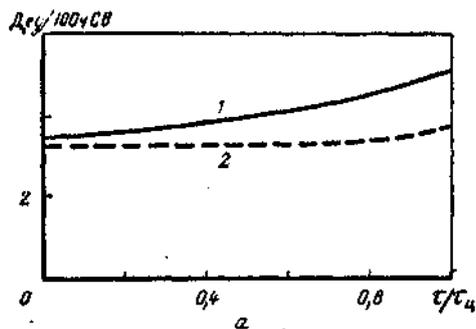


Рис. 3. Изменение коэффициента теплопередачи  $K$  при уваривании утфелей II и III продуктов свеклосахарного (соответственно а и б) и IV продукта тростниковосахарного (в) производств и расходе вдуваемого пара: — 0; - - - 80 кг/час; - - - - 120 кг/час

Рис. 4. Изменение содержания кристаллов  $G$  (а) и скорости кристаллизации  $dG/dt$  (б) при расходе вдуваемого пара  $G_{вд}$  для утфеля II продукта: 1 - 180 кг/час; для утфеля III продукта: 3 - 180 кг/час; 4 - 120 кг/час; 5 - 80 кг/час; 6 - 0.

В результате продолжительность активного уваривания продуктов существенно сокращалась. С увеличением расхода вдуваемого пара  $G_{вд}$  коэффициент теплопередачи  $K$  (рис. 3, в) увеличивался, а продолжительность активного уваривания уменьшалась, однако эффективность этого влияния ниже при расходе вдуваемого пара выше 100—120 кг/час. Поэтому значения  $G_{вд} = 100-120$  кг/час можно считать оптимальными при уваривании

утфелей II и III продуктов свеклосахарного производства и IV продукта при переработке тростникового сахара-сырца. Эти данные качественно согласуются с опытами [2], но нами получен более значительный рост интенсивности теплообмена, что можно объяснить более совершенной конструкцией устройства для вдувания пара.



**Рис. 5.** Изменение оптической плотности увариваемых продуктов: *a, б* – соответственно утфель II и III продуктов; 1 –  $C_{вд} = 0$ ; 2 –  $G_{вд} = 180$  – кг/час

На рис. 4, *a* приведены кинетические характеристики изменения содержания кристаллов в опытных варках. Они имеют вид традиционных S-образных кривых, но в опытах с вдуванием отличаются более крутым характером и имеют несколько меньшую затухающую ветвь в конце процесса уваривания. С увеличением расхода вдуваемого пара скорость кристаллизации возрастает, причем более существенно в конце процесса. Кривые скорости кристаллизации  $dG/d\tau = f(\tau)$  (рис. 4, *б*) имеют максимум, за которым наступает область некоторого снижения интенсивности

кристаллизации, что объясняется недостаточным подводом свежих порций пересыщенного раствора к развитой на этой стадии поверхности кристаллов. Из рис. 4, *б* видно, что при вдувании пара и увеличении его расхода максимум кривых скорости кристаллизации сдвигается ближе к концу процесса уваривания, а затухающие ветви кривых  $dG/d\tau = f(\tau)$  имеют более пологий характер. Как показал кристаллографический анализ (см. таблицу), линейная скорость роста кристаллов и их средний размер также возрастают с увеличением расхода вдуваемого пара. При этом повышается однородность кристаллов, что улучшает условия для дальнейшей кристаллизации в утфелемешалках и центрифугирования утфеля. Продолжительность центрифугирования утфелей, сваренных с вдуванием пара, во всех опытах была меньше, чем без вдувания.

При вдувании пара, как показали анализы, цветность нарастает меньше (см. рис. 5 и таблицу), несмотря на значительные колебания ее в исходных продуктах. Снижение темпа нарастания цветности, по-видимому, связано с улучшением общих гидродинамических условий в вакуум-аппарате при вдувании пара, а также снижением степени перегрева утфеля и уменьшением времени пребывания его в области пристенного перегретого слоя кипящих труб. Такое же явление наблюдалось в работе [3] в условиях кипения сахарных сиропов в полупромышленной экспериментальной установке.

На основании проведенных испытаний получены необходимые данные для конструкторской разработки вакуум-аппарата с усиленной циркуляцией. В настоящее время в Укрниипродмаше разработана техническая документация вакуум-аппарата А2-ПВУ. Опытный образец, его изготовлен Смелянским машиностроительным заводом.

Вакуум-аппарат с усиленной циркуляцией конструкции Елгавского-сахарного завода, оснащенный средствами КИП и А, в декабре 1974 г. прошел приемочные испытания междуведомственной комиссией, на основании которых можно сделать следующие выводы.

С увеличением расхода вдуваемого пара от 0 до 180 кг/ч почти вдвое увеличиваются коэффициенты теплопередачи и сокращается продолжительность активного уваривания III продукта свеклосахарного производства и IV продукта при переработке тростникового сахара-сырца. При уваривании утфеля II продукта свеклосахарного производства сокращение времени активного уваривания и повышение интенсивности теплообмена составляет около 40%.

При вдувании пара наблюдается снижение примерно на 15% разности между средней доброкачественностью исходных оттеков и доброкачественностью утфеля, а также уменьшение степени нарастания цветности на 25% по сравнению с теми же величинами при уваривании без вдувания пара.

При вдувании пара скорость роста кристаллов в утфеле увеличивается в два раза, скорость центрифугирования его возрастает почти на 35%.

Степень неоднородности кристаллов в утфеле при вдувании пара ниже почти на 30%, а средний размер их несколько выше, чем в утфеле, сваренном без вдувания.

Конструктивно предложенное нами устройство для гидродинамической интенсификации уваривания утфелей во много раз проще применяемых за рубежом механических циркуляторов. Оно может быть изготовлено в любой мастерской и использовано в аппаратах разных конструкций.

Энергетические затраты на вдувание могут быть существенно снижены, если использовать на эти цели паровоздушную смесь из сушилок сахара, пара из оттяжек выпарных аппаратов, вакуум-аппаратов, подогревателей и др.

Предлагаемый способ усиления циркуляции позволяет легко ее регулировать.

| Показатели                       | Наличие вдувания пара, кг/час (да; нет) |      |             |      |      |      |            |       |       |       |      |  |
|----------------------------------|---|------|-------------|------|------|------|------------|-------|-------|-------|------|--|
|                                  | нет                                     | да   | нет         | 80   | 120  | 180  | нет        | да    | нет   | 100   | 140  |  |
|                                  | II продукт                              |      | III продукт |      |      |      | IV продукт |       |       |       |      |  |
| Набор                            |   |      |             |      |      |      |            |       |       |       |      |  |
| СВ,%                             | 79,2                                    | 79,6 | 80,6        | 77,5 | 81,7 | 82,7 | 79,2       | 78,5  | 77,8  | 72,5  | 79,7 |  |
| ДБ, ед                           | 84,0                                    | 82,2 | 76,9        | 77,8 | 76,0 | 77,0 | 75,1       | 74,6  | 70,5  | 71,0  | 70,8 |  |
| Цветн. ед.                       |   |      |             |      |      |      |            |       |       |       |      |  |
| Шт                               | –                                       | –    | 310         | 250  | 260  | 260  | –          | –     | 150   | 260   | 170  |  |
| Опт. плотн. ед/100г СВ           | 3,2                                     | 3,4  | –           | –    | –    | –    | 4,0        | 4,8   | –     | –     | –    |  |
| Утфель                           |   |      |             |      |      |      |            |       |       |       |      |  |
| СВ,%                             | 94,0                                    | 92,5 | 95,0        | 94,5 | 95,0 | 94,1 | 94,1       | 94,5  | 94,1  | 94,1  | 94,1 |  |
| ДБ, ед                           | 82,4                                    | 81,5 | 74,1        | 77,5 | 75,9 | 76,6 | 72,3       | 74,2  | 68,0  | 70,6  | 69,7 |  |
| КР, %                            | 41,0                                    | 42,0 | 29,2        | 31,8 | 35,5 | 33,0 | 30,4       | 33,1  | 28,6  | 33,1  | 34,3 |  |
| Цветн. ед.                       |   |      |             |      |      |      |            |       |       |       |      |  |
| Шт                               | –                                       | –    | 470         | 290  | 300  | 290  | –          | –     | 240   | 250   | 200  |  |
| Опт. плотн. ед/100г СВ           | 4,9                                     | 3,7  | –           | –    | –    | –    | 7,1        | 6,3   | –     | –     | –    |  |
| Межкр. р-р при спуске            |   |      |             |      |      |      |            |       |       |       |      |  |
| СВ,%                             | 88,2                                    | 91,3 | 92,2        | 91,3 | 89,5 | 91,3 | 91,3       | 92,1  | 90,4  | 90,3  | 84,1 |  |
| ДБ, ед                           | 69,5                                    | 67,2 | 93,3        | 66,6 | 63,6 | 64,0 | 59,1       | 60,0  | 54,8  | 55,1  | 54,1 |  |
| Вдв. пар давлен. Мпа             | –                                       | 0,33 | –           | 0,15 | 0,30 | 0,38 | –          | 0,32  | –     | 0,30  | 0,33 |  |
| расход, кг/ч                     | –                                       | 180  | –           | 80   | 120  | 180  | –          | 180   | –     | 100   | 140  |  |
| Время варки, ч                   | 5,1                                     | 3,75 | 12,25       | 7,50 | 6,50 | 5,30 | 9,00       | 6,60  | 10,75 | 8,50  | 7,00 |  |
| Греющ. пар $p \cdot 10^3$ МПа    | 175                                     | 180  | 190         | 170  | 185  | 190  | 190        | 185   | 230   | 175   | 190  |  |
| Давл. в аппар $p \cdot 10^3$ МПа | 18,6                                    | 18,6 | 14,4        | 14,6 | 13,3 | 16,0 | 13,3       | 18,6  | 12,0  | 18,6  | 22,6 |  |
| $\Delta T$ , К                   | 29                                      | 30   | 36          | 32   | 34   | 32   | 35         | 30    | 41    | 29    | 26   |  |
| Выпар. вода. т                   | 7,2                                     | 7,7  | 8,5         | 8,5  | 7,5  | 8,5  | 7,2        | 10,2  | 9,0   | 10,0  | 7,3  |  |
| $K$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)     | 238                                     | 337  | 94          | 172  | 181  | 243  | 112        | 252   | 100   | 175   | 198  |  |
| Фуговка, мин                     | 15                                      | 9    | 24          | 18   | 18   | 16   | 19         | 12    | 22    | 17    | 15   |  |
| Кристаллы размер, мм             | 0,36                                    | 0,43 | –           | –    | –    | –    | 0,24       | 0,31  | 0,30  | 0,35  | 0,38 |  |
| Скорость роста, мм/ч             | 0,087                                   | 0,13 | –           | –    | –    | –    | 0,022      | 0,041 | 0,025 | 0,043 | 0,05 |  |
| неоднор. %                       | 35,5                                    | 27,6 | –           | –    | –    | –    | 64,3       | 45,0  | 65,3  | 43,7  | 39,2 |  |

Установка автоматизации вакуум-аппарата удовлетворяет требованиям ведения технологического процесса уваривания утфеля.

Комиссия признала гидродинамический метод усиления циркуляции в вакуум-аппаратах перспективным и способствующим повышению технико-экономических и качественных показателей их работы.

### Список использованной литературы

1. **Интенсификация процесса уваривания утфелей в вакуум-аппаратах**– Сахарная промышленность, 1975, № 1, с. 14. Авт.: В.Т. Горяжа, Ю.Г. Артюхов, В.И. Павелко, В. Р. Кулинченко, В.А. Подлесный.
2. **Интенсификация уваривания утфелей с применением искусственного перемешивания и ввода вторичного пара.** – Труды ВНИИСПа, 1974, вып. 21, с. 103. Авт.: Л.Г. Белостоцкий, А. К. Сущенко, А. И. Сивач, А.В. Власенко, Г.И. Зазимко.
3. **Вплив вдування пари на колірність цукрових розчишв та утфелів під час кипіння**– Республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник «Харчова промисловість», 1973, № 10, с. 16. Авт.: В.П. Агафонов, І.С. Гулий, В. . Попов, Л.І. Требін.

### СУПРОВІДНА ІНФОРМАЦІЯ ДО ПУБЛІКАЦІЇ

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. Сахарная промышленность. № 8, 1975.– С. 15–20

**Випробування вакуум-апарата з гідродинамічним підсиленням циркуляції**  
**Испытания вакуум-апарата с гидродинамическим усилением циркуляции**  
**Tests of vakuuum-pan with the hydrodynamic strengthening of circulation**

**В. Т. Горяжа, Ю. Г. Артюхов, В. И. Павелко, В. Р. Кулинченко** КТИХП  
**Г. Я. Пузиков, М.И. Тимковський А.К. Страутніекс** Елгавський цукровий завод  
**А.К. Сущенко, А.Ф. Кравчук** ВНДЦП  
**А.І. Кочубей, Е.А. Ковальчук** ПТП «Сахпроменергоналадка»  
**В.З. Шапран, В.Д. Сичев** Укрндіпродмаш  
**Б.А. Гурський, Н.А. Макаренко** Смілянський машинобудівний завод

**В. Т. Горяжа, Ю. Г. Артюхов, В. И. Павелко, В. Р. Кулинченко** КТИПП  
**Г. Я. Пузиков, М.И. Тимковский А.К. Страутниекс** Елгавский сахарный завод  
**А.К. Сущенко, А.Ф. Кравчук** ВНИИСП  
**А.И. Кочубей, Э.А. Ковальчук** ПТП «Сахпромэнергоналадка»  
**В.З. Шапран, В.Д. Сычев** Укрниипродмаш  
**Б.А. Гурский, Н.А. Макаренко** Смелянский машиностроительный завод

**V.T. Garyazha, Yu.G Artyukhov, V.I. Pavelko, V. R. Kulinchenko** KTIFI  
**G.Ia Puzikov, M.I. Timkovskiy A.K. Strautnieks** Elgavskiy sugar-house  
**A.K. Suschenko, A.F. Kravchuk** VNIISP  
**A.I. Kochubey, E.A. Kovalchuk** PTP «Sakhpromenergonaladka»  
**V.Z. Shapran, V.D. Sychev** Ukrniiprod mash  
**B.A. Gurskiy, N.A. Makarenko** Smelyanskiy machine-building plant

На підставі експериментальних досліджень і аналізу відомих методів вдування газу або пари розроблений спосіб гідродинамічної інтенсифікації уварювання утфелів

**Ключові слова:** гідродинаміка, інтенсифікація утфіль, вакуум-апарат

На основании экспериментальных исследований и анализа известных методов вдувания газа или пара разработан способ гидродинамической интенсификации уваривания утфелей.

**Ключевые слова:** гидродинамика, интенсификация утфель, вакуум-аппарат

On the basis of experimental researches and analysis of the known methods of insufflation of gas or steam the method of hydrodynamic intensification of boiling of masscutes is developed

**Keywords:** hydrodynamics, intensification masscuite, vakuum-pan