

**2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

5. Pelykh, S.N. Estimation of local linear heat rate jump values in the variable loading mode / S. N. Pelykh, R. L. Gontar, T.V. Tsiselskaya // Nuclear Physics and Atomic Energy. – 2011. – Vol. 12, № 3. – P. 242–245.
6. Maksimov, M. V. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control / M. V. Maksimov, K. V. Beglov, T. A. Tsiselskaya // Пр. Одес. політехн. ун-ту. – Одеса, 2012. – Вип. 1(38). – С. 99–106.

**References**

1. Model of cladding failure estimation for a cycling nuclear unit / M.V. Maksimov, S.N. Pelykh, O.V. Maslov, V.E. Baskakov // Nuclear Engineering and Design. – 2009. –Vol. 239, № 12. – P. 3021–3026.;
2. Metod otsenki ekspluatatsionnogo resursa obolochki tvela VVER-1000 v razlichnykh rezhimakh nagruzheniya / M.V. Maksimov, S.N. Pelykh, O.V. Maslov, V.E. Baskakov // Atomnaya energiya. – 2010. – Т. 108, Vyip. 5. – С. 294–299.;
3. Pelykh, S.N. Cladding rupture life control methods for a power-cycling WWER-1000 nuclear unit / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov // Nuclear Engineering and Design. – 2011. –Vol. 241, № 8. – P. 2956–2963.;
4. Pat. 100070 Ukrayina, МРК G 21 C 7/00. Sposib upravlinnya yadernoyu energetychnoyu ustanovkoyu z reaktorom vodyanogo ty`pu pry` zmini potuzhnosti reaktora abo zovnishn`ogo navantazheniya / Maksy`mov M.V., Baskakov V.E, Pely`x S.M., Sy`sel`s`ka T.O.; zayavny`k ta patentovlasny`k Maksy`mov M.V., Baskakov V.E, Pely`x S.M., Sy`sel`s`ka T.O. – # a201102326; zayavl. 28.02.2011; opubl. 12.11.2012, Byul. # 21/2012.;
5. Pelykh, S.N. Estimation of local linear heat rate jump values in the variable loading mode / S. N. Pelykh, R. L. Gontar, T.V. Tsiselskaya // Nuclear Physics and Atomic Energy. – 2011. – Vol. 12, № 3. – P. 242–245.;
6. Maksimov, M. V. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control / M. V. Maksimov, K. V. Beglov, T. A. Tsiselskaya // Pr. Odes. politekhn. un-tu. – Odesa, 2012. – Vyp. 1(38). – S. 99–106.

УДК 658.5.011.16

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НАТУРАЛЬНОГО УКСУСА

Муратов В. Г.<sup>1</sup><sup>1</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DOI: 10.15673/2312-3125.

**Аннотация**

Изложены предложения, а также результаты их реализации и испытаний на действующем оборудовании для повышения эффективности автоматизированного процесса производства натурального уксуса.

**Abstract**

Offers, and also results of their realization and tests on the operative equipment for increase of efficiency of the automated process of production of natural vinegar are stated.

**Ключевые слова**

Управление, регулирование, реактор, уксус, культуральная жидкость, аэрация, бактерии, струйный насос, дозатор.



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Натуральный уксус является пищевым продуктом со значительным содержанием уксусной кислоты, традиционно получаемый в результате микробиологического синтеза с помощью уксуснокислых бактерий из пищевого спиртосодержащего сырья. Сырьем здесь служит этиловый спирт пищевой или ректифицированный, хвостовые фракции коньячного производства, забродившие плодово-ягодные соки и виноматериалы [1].

Для производства натурального уксуса применяют множество штаммов уксуснокислых бактерий. Практически всегда эти бактерии являются аэробными и потребляют атмосферный кислород для своего дыхания. Поэтому важной частью технологического процесса служит обеспечение бактерий определенным количеством воздуха. Как избыток, так и недостаток воздуха угнетает бактерий, приводя к болезням и снижению их производительности вплоть до полной остановки процесса выработки уксусной кислоты.

Для нормальной жизнедеятельности бактерий требуются также определенные температурные условия, которые для разных видов бактерии отличаются значениями допустимых температурных границ. В рамках этих границ производительность бактерий максимальна. Существует важное ограничение на скорость изменения температуры культуральной жидкости – среды обитания бактерий. Если эта скорость превышает значение  $\pm 1$  °C в час, то бактерии заболевают, что приводит к снижению их производительности вплоть до полной остановки процесса. Поскольку в процессе жизнедеятельности уксуснокислые бактерии выделяют тепло, то для создания комфортных условий для них требуется стабилизация температуры. Температуру обычно регулируют путем охлаждения культуральной жидкости.

Кроме того, для уксуснокислых бактерий требуется питание. В качестве питательной среды применяют сусло, представляющее собой водный раствор ряда минеральных солей и этилового спирта, которые бактерии преобразуют в уксусную кислоту. Отклонение качества любого из компонентов сусла за допустимые границы также приводит к заболеваниям бактерий, снижению их производительности вплоть до нуля.

Процесс производства натурального уксуса ведут в специальных емкостях - биологических реакторах (ферментерах, ацетаторах) периодического или непрерывного действия. Обычно реакторы изготавливают из пищевой нержавеющей стали и предусматривают наружные (водяные рубашки) или внутренние (спиральные змеевики) поверхностные теплообменники. Аэрирование культуральной жидкости во времена СССР осуществляли с помощью сжатого воздуха, подаваемого в барботеры реакторов, что приводило к значительному перерасходу электроэнергии.

О ходе технологического процесса судят по величине и скорости нарастания концентрации уксусной кислоты, об окончании процесса - по количеству остаточного спирта в культуральной жидкости реактора [2]. С этой целью периодически, например, титриметрическим методом проводят лабораторные анализы культуральной жидкости и/или применяют автоматические анализаторы, например, количества остаточного спирта.

Максимальная производительность бактерий при производстве 10% уксуса лежит в пределах 5...9 % концентрации уксусной кислоты. Поэтому по окончании технологического процесса из реактора сливают около 20...30% сырого уксуса, что после добавления в реактор сусла и очищенной воды обеспечивает начальную 5% концентрацию уксусной кислоты. После заливки сусла и воды технологический цикл повторяется. Слитый же сырой уксус при этом направляют на фильтрование, а очищенный от бактерий готовый продукт - на фасовку и реализацию.

Применяя последние достижения в области глубинной ферментации, известная фирма Frings создала линейку реакторов, оснащенных автоматической системой управления, основой которой служат контроллер Simatic S7-300 концерна Siemens и кондуктометрический анализатор «Alcocontrol» [3]. Регулирование температуры культуральной жидкости здесь осуществляют изменением расхода воды на охлаждение по сигналу датчика, установленного в нижней части реактора, Регулирование уровня, дозирование поступления воды и сусла, а также слива сырого уксуса осуществляют по перепаду давлений в верхней и нижней частях реактора. Регулирование расхода воздуха на аэрирование выполняют по сигналу ротаметра изменением положения воздушной заслонки в подающем воздуховоде.

Аэрирование при этом осуществляют с помощью турбинки Фрингса – горизонтально вращающегося лопаточного колеса центробежного насоса, размещенного в культуральной жидкости у дна реактора. Корпус закрывает только центр колеса, где при вращении создается вакуум и куда сверху по вертикальной трубе извне через воздушный фильтр направляется свежий воздух для дыхания бактерий. Внешняя часть лопаток колеса открыта и попавшая в них культуральная жидкость отбрасывается через специальные направляющие к стенкам реактора, одновременно смешиваясь с подаваемым в центр колеса воздухом. Распыленный таким образом воздух поднимается вверх, обеспечивая бактерии кислородом. Над поверхностью культуральной жидкости образуется пена, которая внутренним подпором воздуха выходит наружу через пеноуловитель и выводное отверстие потолка реактора. Пену затем направляют в гидравлический затвор, где происходит отделение отработанного воздуха от культуральной жидкости. Затем удаляемый воздух направляют через поверхностный воздухоохладитель, где за

**2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

счет теплообмена с охлаждающей водой конденсируются пары уксуса и спирта. Полученный конденсат самотеком направляют в сборник для дальнейшего использования.

Электропривод, на валу которого установлена турбинка Фрингса, расположен под реактором, что создает определенные сложности технического обслуживания. При постоянной работе движущиеся детали турбинки и уплотнения срабатываются, а для их замены требуется останавливать процесс и опорожнять реактор. Кроме того, электропривод имеет значительную мощность, что сказывается на себестоимости готового продукта.

С целью повышения эффективности автоматизированного производства был создан опытно-промышленный реактор, оснащенный соответствующей системой управления.

Аэрацию культуральной жидкости было предложено осуществлять при помощи струйного насоса Н1, как показано на рис.1. Это позволило избежать применения подвижных частей, а использование относительно маломощного циркуляционного насоса Н2 в несколько раз снизило энергопотребление. Нагнетаемую насосом Н2, струю культуральной жидкости направляют в сопло смесительной камеры струйного насоса Н1. Это создает вакуум и обеспечивает подсосывание в диффузор свежего воздуха для дыхания бактерий. Воздух поступает извне через воздушный фильтр (не показан) и поверхностный теплообменник Т1 согласования температур воздуха и культуральной жидкости. При движении в диффузоре насоса Н1 происходит эффективное насыщение культуральной жидкости кислородом и выброс этой смеси в придонные слои. Пузырьки распыленного воздуха поднимаются вверх вдоль стенок реактора, перемешивая и обогащая культуральную жидкость кислородом.

Дальнейшее дыхание бактерий, пеноотделение и удаление отработанного воздуха в атмосферу не отличается от описанного выше.

Регулирование температуры культуральной жидкости осуществили по сигналу термометра сопротивления ТЕ1, установленного в реакторе, путем перемещения шарового крана фирмы Velimo с серводвигателем ИМ1, смонтированного в линии подачи охлаждающей воды в рубашку Т3 реактора. В качестве ПИД-регулятора использовали двухканальный контроллер TRM-32 фирмы Овен, установленный в местном щите управления.

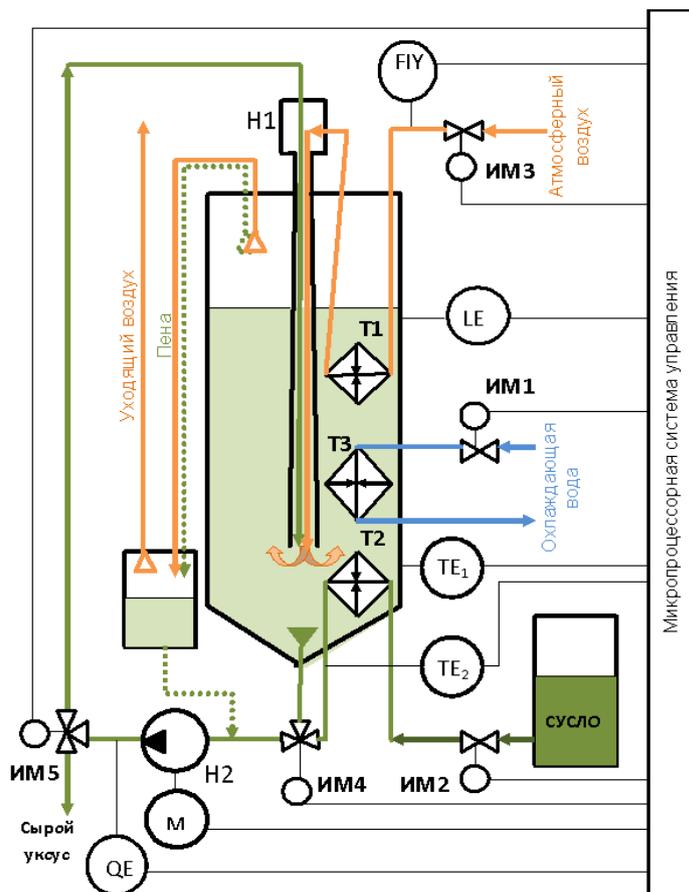


Рис.1 Автоматизация ферментера для производства натурального уксуса



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Как показал опыт, при подаче сусла в реактор локально может значительно меняться температура культуральной жидкости и, как следствие, снижаться производительность реактора. Для предотвращения этого нами была предусмотрена возможность регулирования температуры подаваемого сусла с использованием поверхностного змеевикового теплообменника Т2, размещенного, например, в культуральной жидкости. С этой целью в трубопроводе подачи сусла/очищенной воды после теплообменника Т2 установили термометр сопротивления ТЕ2 и подключили его ко входу второго канала ПИД-регулятора ТРМ-32, для воздействия на положение шарового крана фирмы Velimo с исполнительным механизмом ИМ2.

Регулирование подачи воздуха в реактор осуществили с помощью контроллера ТРМ10, который по сигналу ротаметра FIY типа H250 воздействовал на положение заслонки ИМ3 при помощи серводвигателя фирмы Velimo. Сигнал о концентрации уксусной кислоты от датчика QE направили в контроллер, смонтированный в щите КИПиА операторской цеха, где вырабатывался сигнал управления реактором. В этом щите установлены также органы управления вспомогательным оборудованием цеха.

Для переключения работы реактора с режима ферментации на режим подачи в него сусла/очищенной воды использован трехходовой шаровой кран фирмы Velimo с исполнительным механизмом ИМ4. Переключение режимов ферментации и слива сырого уксуса использован трехходовой шаровой кран фирмы Velimo с исполнительным механизмом ИМ5. Управление циркуляционным насосом Н2 и режимами работы реактора предусмотрено как с местного щита, так и щита КИПиА, установленного в операторской цеха.

Информация о ходе технологического процесса, получаемая от контроллеров системы через преобразователь интерфейса была направлена в персональный компьютер диспетчерской завода для отображения и архивирования данных и графиков.

Известно, что точность дозирования сусла, воды и количества сливаемого из реактора сырого уксуса сказывается на технико-экономических показателях процесса, что заставляет искать оптимальные решения по критерию цена-качество. Рассмотренные варианты тензометрических и манометрических преобразователей уровня с унифицированными выходными сигналами, которые можно использовать для решения задачи дозирования, из-за их требуемой высокой точности оказались достаточно бюджетными. Тогда было принято решение о нетрадиционном использовании датчиков кондуктометрических сигнализаторов уровня, например, типа САУ-6, стоимость которых на порядки ниже рассмотренных вариантов.

Для этого в качестве урнемерного стекла, показанного на рис. 2, использовали вертикальную стеклянную трубу ( $d=80\text{ мм}$ ,  $L=2000\text{ мм}$ ), нижний конец ко-торой герметично смонтировали в патрубке, оснащенном импульсной трубкой. Импульсную трубку вставили в отверстие нижней части корпуса реактора и приварили.

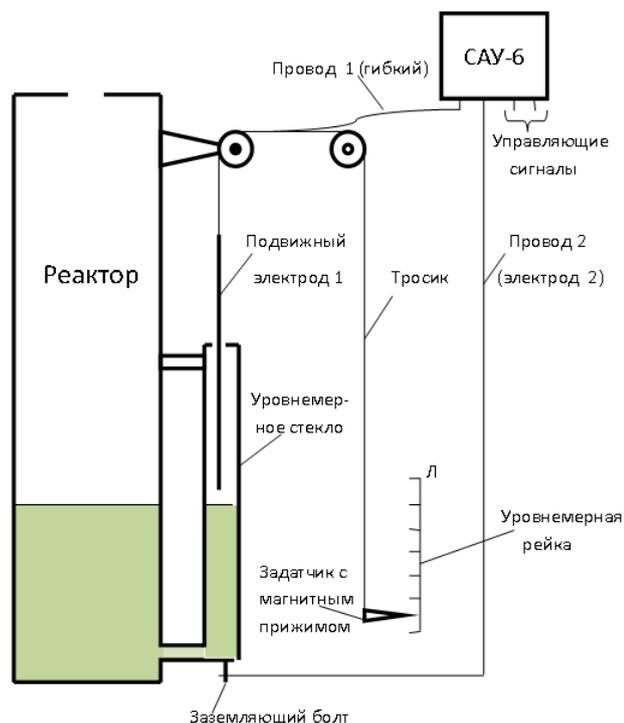


Рис. 2 Схема кондуктометрического дозатора



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Верхний конец урвнмерного стекла закрепили на корпусе реактора аналогичным образом. Сверху в урвнмерное стекло вставили капролоновую пробку-направляющую с осевым отверстием для перемещения стандартного электрода 1 (диаметра 3 мм с заостренным нижним концом и резьбой на верхнем из пищевой нержавеющей стали длиной 2000 мм.). Электрод подвесили на тяговый тросик и соединили с гибким проводом 1, который подключили к релейному блоку САУ-6 кондуктометрического сигнализатора уровня. Корпус реактора проводом 2 также подключили к САУ-6. Когда изменение уровня приводило к замыканию (размыканию) электрической цепи между электродами 1 и 2, срабатывали соответствующие выходные реле блока САУ-6, включая (выключая) соответствующие насосы и открывая (закрывая) требуемые запорные клапаны. Поскольку реактор является практически открытым сосудом, уровни культуральной жидкости в нем и в урвнмерном стекле совпадали.

Для задания требуемого количества сливаемого из реактора уксуса и подаваемого в него сула и воды предусмотрели ролики-направляющие, по которым перемещался тросик, связанный с задатчиком, который имел магнитный прижим к урвнмерной рейке. Перемещение задатчика по урвнмерной шкале приводило к соответствующему вертикальному перемещению электрода 1 до требуемого уровня в реакторе.

Перед началом эксплуатации представители метрологического центра провели калибровку реактора совместно с урвнмерной рейкой. Дальнейшая практика и контрольные измерения показали, что погрешность дозирования жидкости в реакторе объемом 20 м<sup>3</sup> не превышала 10-12 л, что при прочих равных условиях не уступало по точности тензометрическим и др. дозаторам. Это позволило распространить полученный опыт для оснащения всех емкостей цеха аналогичными дозаторами.

Проведенные испытания и дальнейшая промышленная эксплуатация предложенных способа [4] и линии [5] автоматически управляемого производства натурального уксуса подтвердили их целесообразность и эффективность. Их применение позволило повысить производительность реактора при снижении эксплуатационных затрат на ремонт и электроэнергию.

На рис.3 показан опытно-промышленный образец созданного нами реактора со струйным и циркуляционным насосами системы аэрации, оснащенный предложенной системой автоматического управления. Данный реактор явился прототипом нового эффективного автоматизированного оборудования для производства натурального уксуса. На основе полученного опыта был изготовлен аналогичный реактор, который с успехом эксплуатируется на одном из отечественных предприятий. На рис.4 показана операторская цеха, где установлены щиты управления реактором фирмы Frings и разработанной нами автоматизированной линии производства натурального уксуса.



Рис. 3 Опытно-промышленный реактор R3 с местным щитом управления



**2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**



Рис. 4 Цех производства натурального уксуса. Операторская  
1 - щит КИПиА автоматизированной системы управления цехом;  
2 - щит управления реактором 3 фирмы Frings.

**Вывод.** Использование предложенного способа автоматически управляемого производства натурального уксуса и соответствующей автоматизированной линии повысило эффективность производства и снизило эксплуатационные затраты, что позволяет их рекомендовать к широкому применению.

#### Литература

1. Современное производство и потребление уксуса за рубежом/Галкина Г.В. и др. Обзорная информация. Спиртовая, дрожжевая и ликеро-водочная пром-сть. Вып. 5. Серия 24.- М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1987.;
2. Муратов В.Г., Лукьяненко Ю.Л. Метод встановлення залишкової кількості спирту при виробництві натурального оцту. Тез. доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Харчові технології – 2006».- Одеса, ОНАПТ, 2006. – с. 153.;
3. Интернет-сайт <http://www.frings.com>;
4. Муратов В.Г., Хортюк Н.Н. Спосіб автоматично керованого виробництва натурального оцту. Патент України на винахід №84084. МПК(2006) С12J1/00.- Оpubл. 10.09.2008, Бюл. №17.;
5. Муратов В.Г., Хортюк Н.Н. Автоматична лінія виробництва натурального оцту. Патент України на винахід № 85423. МПК(2009) С12J001/04.- Оpubл. 26.01.2009, Бюл. № 2.

#### References

1. Sovremennoe proyzvodstvo y potreblenye uksusa za rubezhom/Halkyna H.V. y dr. Obzornaya ynformatsyya. Spyrtoвая, drozhzhevaya y lykero-vodochnaya prom-st'. Vyp. 5. Seryya 24.- M.: CNYYTEY Pysheprom, 1987.;
2. Muratov V.H., Luk'yanenko Yu.L. Metod vstanovlennya zalyshkovoyi kil'kosti spyrtu pry vyrobnytsvii natural'noho otstu. Tез. dopovidey II Mizhnarodnoyi naukovо-praktychnoyi konferentsiyi «Kharchovi tekhnolohiyi – 2006».- Odesa, ONAPT, 2006. – s. 153.;
3. Ynternet-sayt <http://www.frings.com>;
4. Muratov V.H., Khortyuk N.N. Sposib avtomatychno kerovanoho vyrobnytsva natural'noho otstu. Patent Ukrayiny na vynakhid #84084. MPK(2006) S12J1/00.- Opubl. 10.09.2008, Byul. #17.;
5. Muratov V.H., Khortyuk N.N. Avtomatychna liniya vyrobnytsva natural'noho otstu. Patent Ukrayiny na vynakhid # 85423. MPK(2009) S12J001/04.- Opubl. 26.01.2009, Byul. # 2.