

УДК 681.518

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.37.2.024](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.37.2.024)

## Идентификация математической модели управления абсорбционными аппаратами селективной очистки газовых выбросов

Н.А. Меренцов<sup>1</sup>, А.В. Персидский<sup>2✉</sup>, А.Б. Голованчиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет,  
Волгоград, Российская Федерация

<sup>2</sup>«Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады»,  
Волгоград, Российская Федерация  
[a-persidsky@yandex.ru](mailto:a-persidsky@yandex.ru)✉

**Резюме.** Оснащение аппаратов абсорбционной очистки газов системами автоматизированного управления гидродинамическим режимом их работы является на сегодняшний день наиболее эффективным средством повышения качества и эффективности их работы. При этом наиболее трудоемкая задача при введении в эксплуатацию таких аппаратов заключается в настройке параметров системы автоматизированного управления. Целью исследования, рассмотренного в данной работе, является улучшение качества работы и повышение энергоэффективности систем сорбционной очистки газовых выбросов путем удержания наиболее интенсивных гидродинамических режимов их работы. Основная задача – создание системы автоматизированного управления, а также алгоритма программы идентификации математической модели управления. Рассмотренная в данной работе система автоматизированного управления и алгоритм позволяют производить идентификацию математической модели управления (также называемую автокалибровкой) за счет проведения испытания аппарата в автоматизированном режиме. В работе дано описание механизма распознавания гидродинамических режимов и поиска режима эмульгирования для идентификации математической модели автоматического управления насадочным абсорбционным аппаратом. Представлена схема системы идентификации и управления режимами работы насадочным абсорбционным аппаратом. Приведен алгоритм программы идентификации математической модели управления (автокалибровки) массообменной абсорбционной системы. Предложенная система автоматизированного управления и алгоритм автокалибровки позволяют до 8 раз уменьшить время пусконаладочных работ, а также добиться повышения качества и энергоэффективности процесса абсорбционной очистки газов.

**Ключевые слова:** система автоматизированного управления, идентификация технологических параметров, массообмен, абсорбция газов, сорбционные массообменные аппараты, гидродинамика, режим турбулизации, эмульгирование.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-1287.2020.8 «Моделирование процессов управления в массообменном экологическом и нефтегазоперерабатывающем оборудовании».

**Для цитирования:** Меренцов Н.А., Персидский А.В., Голованчиков А.Б. Идентификация математической модели управления абсорбционными аппаратами селективной очистки газовых выбросов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022;10(2). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1178> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.024

## Identification of mathematical control model aimed at controlling absorption devices for selective gas emissions cleaning

N.A. Merentsov<sup>1</sup>, A.V. Persidskiy<sup>2✉</sup>, A.B. Golovanchikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation  
<sup>2</sup>Federal Scientific and Production Centre "Titan – Barricady", Volgograd,  
Russian Federation  
[a-persidsky@yandex.ru](mailto:a-persidsky@yandex.ru)✉

**Abstract.** Equipping gas absorption apparatuses with automated control systems for the hydrodynamic mode of their operation is by far the most effective means of improving the quality and efficiency of their operation. At the same time, the most time-consuming task in commissioning such devices is to configure the parameters of the automated control system. The purpose of the study, considered in this paper, is to enhance the quality of operation and increase the energy efficiency of systems for gas emission sorption purification by maintaining the most intensive hydrodynamic modes of their operation. The main goal is to create an automated control system and an algorithm for mathematical control model identification program. The automated control system and algorithm, regarded in this article, make it possible to identify the mathematical control model (also called auto-calibration) by testing the apparatus in an automated mode. The paper gives a description of the mechanism for recognizing hydrodynamic modes and searching for an emulsification mode to identify a mathematical model for automatic control of a packed absorption apparatus. A diagram of the system for identification and control of a packed absorption apparatus operating modes is suggested. An algorithm for the identification program for the mathematical control model (auto-calibration) of a mass-exchange absorption system is presented. The proposed automated control system and auto-calibration algorithm enables the reduction of the commissioning time by up to 8 times and helps to improve the quality and energy efficiency of the gas absorption purification process.

**Keywords:** automated control system, identification of process parameters, mass exchange, gas absorption, sorption mass exchange apparatus, hydrodynamics, turbulent mode, emulsification.

**Acknowledgments:** The research was conducted with the support of the grant of the President of the Russian Federation MK-1287.2020.8 "Modeling of control processes in mass-exchange environmental, and oil and gas processing equipment".

**For citation:** Merentsov N.A., Persidskiy A.V., Golovanchikov A.B. Identification of mathematical model aimed at controlling absorption devices for selective gas emissions cleaning. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(2). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1178> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.024 (In Russ.).

## Введение

Насадочные массообменные аппараты различных назначений и конструктивных исполнений получили широкое промышленное применение в технологических линиях химической, нефтехимической, нефтегазоперерабатывающей, энергетической и смежных отраслях [1-7]. Массообменные аппараты абсорбционной селективной очистки газов играют важную роль как в основных технологиях, так и в экологических процессах очистки газовых выбросов промышленных предприятий [8-15]. Однако, существующие системы автоматического управления насадочными массообменными аппаратами не позволяют осуществлять стабильную работу массообменных систем в гидродинамических режимах работы, обладающих наивысшей эффективностью, в силу их крайней неустойчивости. Основная причина этого – отсутствие методов мгновенной количественной оценки гидродинамического режима, в котором массообменный аппарат работает в данный момент. Речь идет о гидродинамическом режиме эмульгирования, проявляющемся за точкой инверсии фаз [8-13]. Данный режим обладает существенными преимуществами и недостатками. К преимуществам можно отнести наивысшие показатели интенсивности протекающих массообменных процессов, что сопровождается активной турбулентной диффузией вихрей потока газовой фазы в поток жидкого абсорбента. Режим эмульгирования также характерен активным развитием и обновлением поверхности контакта фаз, и наивысшими показателями

удерживающей способности насадочных блоков массообменных аппаратов по жидкой и газовой фазам [10, 14, 15]. Основными недостатками являются высокие энергозатраты на развитие и поддержание гидродинамического режима и крайняя его неустойчивость в условиях промышленной эксплуатации. Первый недостаток частично либо полностью сглаживается снижением объема насадочного блока. Результаты математического моделирования абсорбционных колонн, работающих в режиме эмульгирования, показали снижение объема насадочного блока до 40 % [14, 15], при условии обеспечения устойчивой работы массообменной колонны в данном режиме. Вторым недостатком планируется устранить применением систем автоматизированного управления.

Таким образом, целью исследования, рассмотренного в данной работе, является улучшение качества работы и повышение энергоэффективности систем сорбционной очистки газовых выбросов путем удержания наиболее интенсивных гидродинамических режимов их работы. Основная задача – создание системы автоматизированного управления, а также алгоритма программы автоматизированной идентификации математической модели на основе новой математической модели, подробно рассмотренной в статье [16].

Предлагаемая автоматизированная система управления обеспечивает постоянную работу насадочного абсорбционного аппарата в наиболее эффективном гидродинамическом режиме – режиме эмульгирования, а алгоритм автоматизированной идентификации математической модели позволяет определять необходимые для расчета управляющих воздействий величины в автоматизированном режиме.

### **Система автоматизированной идентификации математической модели управления процессом абсорбции в насадочной колонне**

Для реализации предлагаемой концепции массообменный аппарат имеет систему автоматического управления, схема которой представлена на Рисунке 2. Программируемый логический контроллер *ПЛК* выполняет программы автокалибровки (идентификации) и управления, получая информацию с датчиков и посылая управляющие сигналы исполнительным устройствам. Термоанемометрический датчик (расходомер) *Д1* измеряет скорость (расход) газового потока в трассе газопровода, датчики *Д2* и *Д5* определяют конечную и начальную концентрации извлекаемого вещества соответственно в выходном и во входном воздуховоде массообменного аппарата, датчики давления *Д3* и *Д4* измеряют давление газа над и под насадочным блоком, определяя гидравлическое сопротивление насадочных блоков.

Частотный преобразователь *ЧП1* служит для управления насосом подачи чистого абсорбента *АН* из резервуара *РЧА*, а отработанный абсорбент собирается в резервуаре *РОА*, откуда отправляется на регенерацию. Для управления расходом потока газовой фазы служит частотный преобразователь *ЧП2*, управляющий частотой вращения газового нагнетателя *В* (вихревого турбокомпрессора).

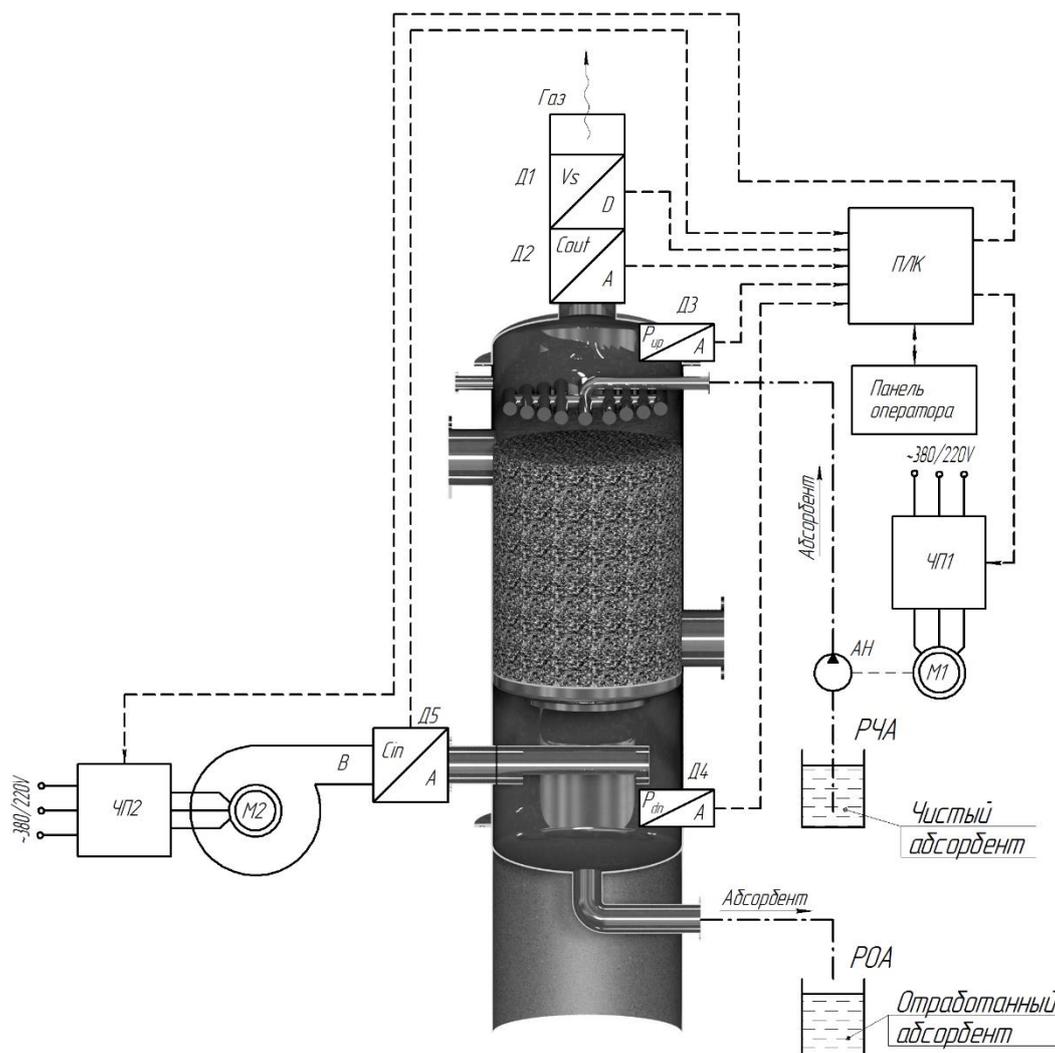


Рисунок 1 – Схема АСУ насадочным абсорбционным аппаратом селективной очистки газов

Figure 1 – Diagram of the automated control system for a packed absorption apparatus selective gas purification

Идентификация математической модели управления насадочным массообменным аппаратом производится во время процесса, называемого автокалибровкой. Это автоматизированный процесс, задачей которого является нахождение значений коэффициентов в уравнении математической модели управления (5) и других необходимых величин для расчета управляющих воздействий при управлении насадочным абсорбционным аппаратом, работающим в технологическом процессе. Некоторые значения, такие как геометрические размеры насадочного блока аппарата и технологические характеристики потоков продуктов массообмена используемого абсорбента, требуют ручного ввода, остальные находятся программой путем достижения в массообменном аппарате требуемых (искомых) гидродинамических режимов и их идентификации по показаниям датчиков в ходе автоматизированных испытаний.

Процесс автокалибровки запускается только вручную, поскольку в ходе него аппарат не может участвовать в технологическом процессе. Первоначально автокалибровка инициируется как завершающий этап пусконаладочных работ, она может быть выполнена повторно, если результаты автоматического управления

массообменным аппаратом перестают быть удовлетворительными, например, из-за засорения или изменения поверхностных свойств контактных элементов насадочного блока, либо других факторов.

В основу принципа автокалибровки положена идентификация гидродинамических режимов посредством индекса турбулизации, анализа смежных фильтрационных кривых течений потока газовой фазы через насадочный блок при ступенчатом изменении режимов орошения, что подробно рассмотрено в работах [15-17]. Начало появления «всплесков» величины индекса турбулизации свидетельствует о смене гидродинамических режимов, что дает возможность распознать пределы эффективного гидродинамического режима работы массообменной колонны – режима эмульгирования. Аппроксимация полученных с датчиков величин гидравлического сопротивления, а также расхода потока газовой фазы при различной плотности орошения насадочного блока позволяют получить значения коэффициентов, входящих в основное уравнение математической модели управления. Алгоритм процесса автокалибровки представлен на Рисунке 3.

Процесс автокалибровки начинается с ввода оператором исходных данных: коэффициента увеличения индекса турбулизации при эмульгировании  $E_{mu}$ , отвечающего за регистрацию «всплесков» значений индекса турбулизации, высоты насадочного блока  $H$ , номинальной подачи насоса абсорбента  $L_{nom}$ , коэффициента насыщения сорбента  $K_{ns}$ , определяющего концентрацию извлекаемого компонента в выходящем из аппарата абсорбенте, плотность абсорбента  $RO_s$ , диаметра входного воздуховода  $D_v$  и корпуса аппарата  $D_k$  для пересчета скорости газового потока в объемный расход, а также минимальную частоту питания воздухоудувки (вихревого турбокомпрессора)  $F2min$  для ограничения нижнего предела регулирования ее производительности. После этого программа пересчитывает подачу насоса в единицы СИ и определяет площадь сечения входного воздуховода и корпуса, после чего переходит к определению среднеквадратического отклонения показаний датчика скорости (расхода) газового потока. Принцип его определения заключается в фиксации 10 показаний датчика  $V_s$  с интервалом 1 секунду в установившемся режиме и нахождении на их основе среднеквадратического отклонения. Этот процесс повторяется при трех частотах питания воздухоудувки: 10, 30 и 50 Гц, после чего определяется максимальное из найденных отклонений  $S_{vs}$ . По окончании процесса автокалибровки это значение будет сохранено в энергонезависимую память контроллера.

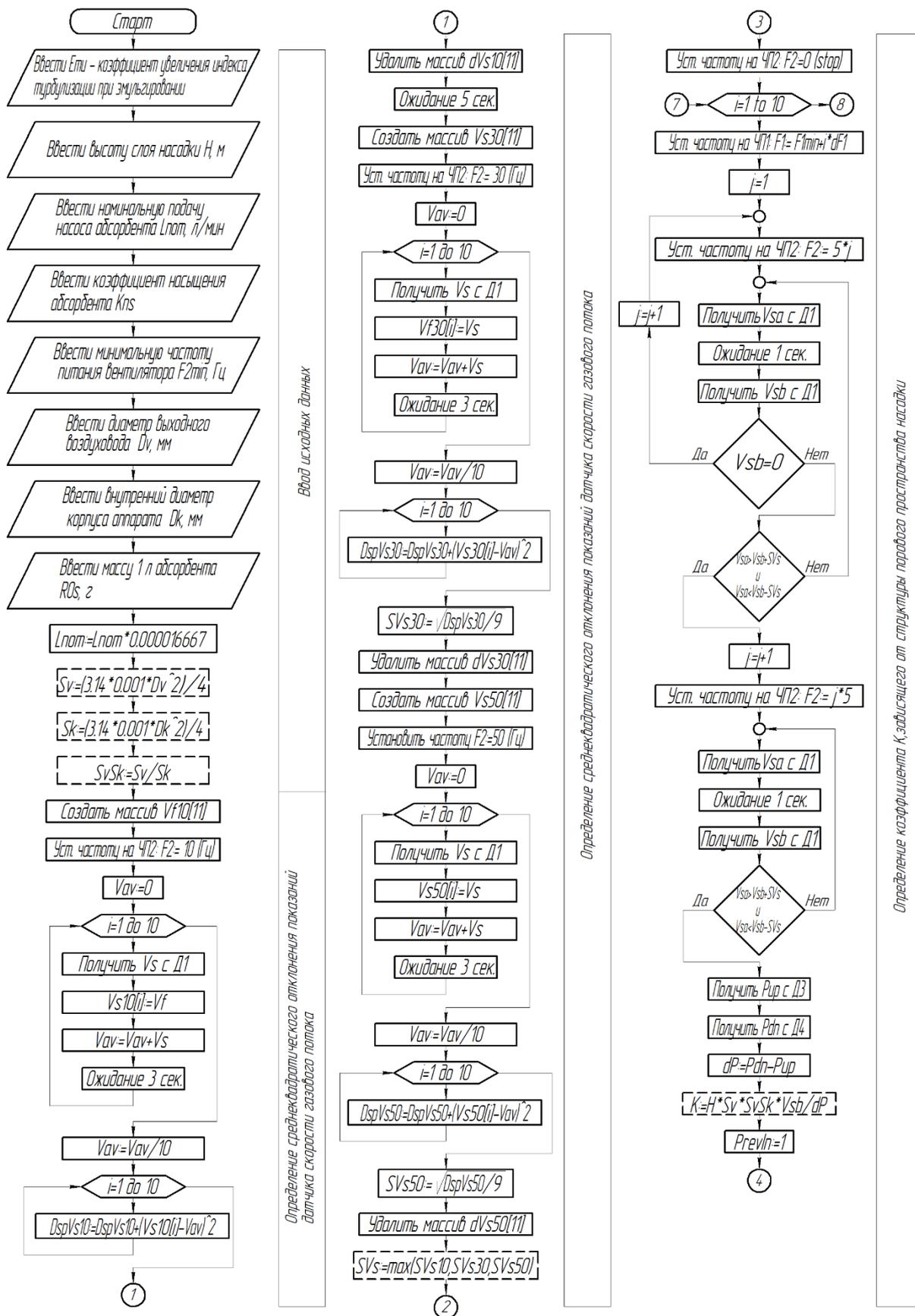


Рисунок 2 – Алгоритм автокалибровки аппарата абсорбционной очистки газов  
Figure 2 – Algorithm for autocalibration of the gas absorption purification apparatus

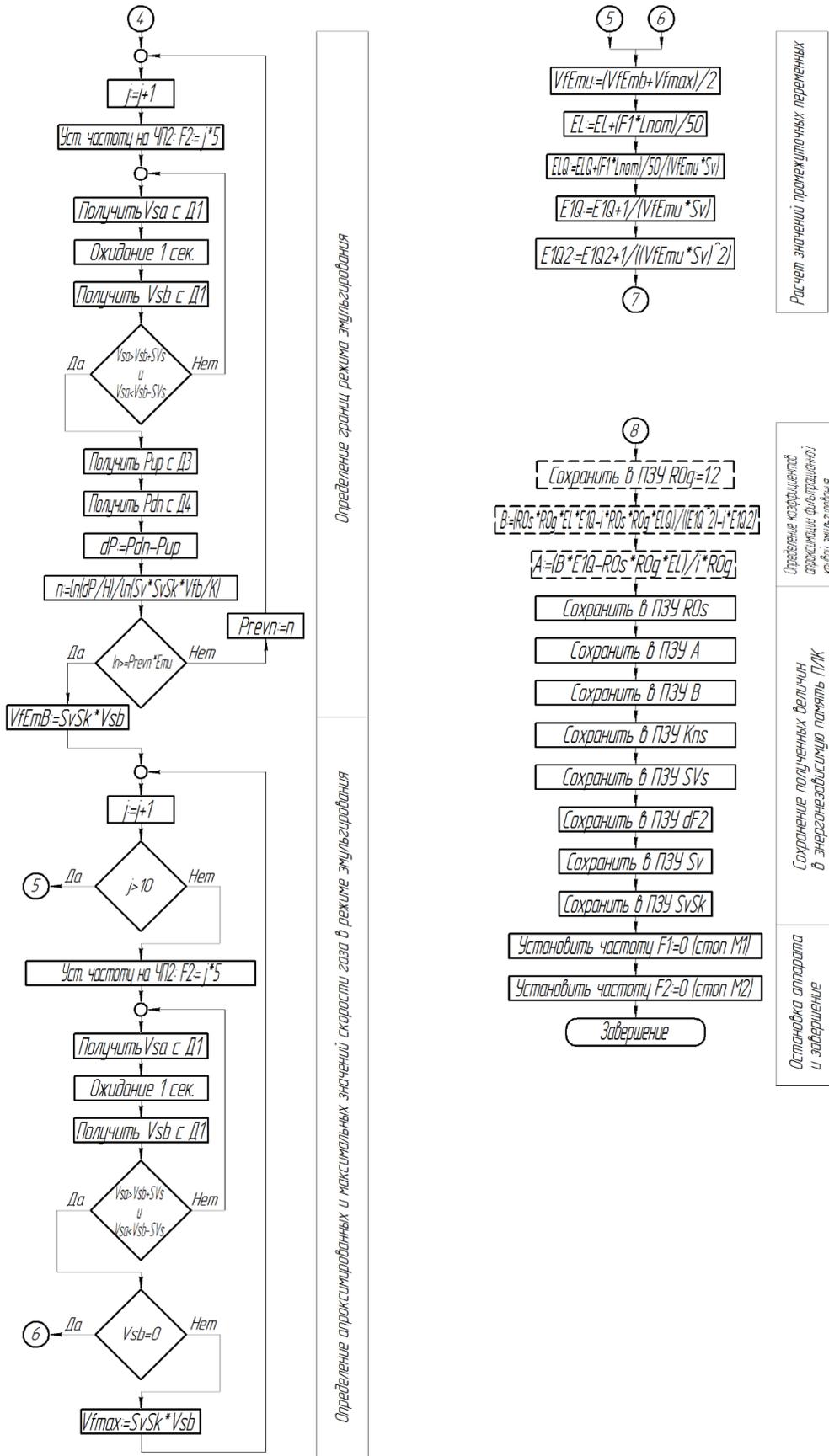


Рисунок 2 (продолжение)  
Figure 2 (continued)

На следующем этапе программа входит в цикл, при каждой итерации которого увеличивается частота питания насоса подачи абсорбента  $FI$  (жидкой фазы) и, соответственно, интенсивность орошения насадочного блока. В каждой итерации программа определяет коэффициент, зависящий от пористой структуры насадочного блока – коэффициент порозности, входящий в уравнение индекса турбулизации. Этот коэффициент входит в уравнение индекса турбулизации [16, 17]

$$v_{\phi} = K_{mp} \left( \frac{\Delta P}{H} \right)^{\frac{1}{I_n}}, \quad (1)$$

где  $v_{\phi}$  – фиктивная (усредненная) скорость фильтрации газового потока;  $K_{mp}$  – коэффициент учитывающий влияние структуры порового пространства на формирование динамики турбулентного течения;  $1/I_n$  – показатель степени, отражающей интенсивность динамики развития сил инерции в турбулентном фильтрационном потоке;  $\Delta P$  – разность давлений под и над насадочным блоком;  $H$  – высота слоя насадки.

Определение значения этого коэффициента производится в области небольших скоростей газового потока, где индекс турбулизации  $I_n \approx 1$ . В программе это реализовано следующим образом: программа увеличивает частоту питания воздуходувки с шагом 5 Гц, пока скорость газового потока по показаниям датчика не станет ненулевой, после чего увеличивает частоту питания воздуходувки еще на 5 Гц. Затем программа с помощью цикла ожидания дожидается, когда режим работы аппарата станет установившимся, после чего получает с датчиков значения давления газового потока под и над насадкой (гидравлического сопротивления насадочного блока), а также скорость газового потока и определяет  $K$  согласно уравнению

$$K = \frac{v_{\phi} \cdot H}{\Delta P} \quad (2)$$

Функциональная зависимость удельного гидравлического сопротивления от скорости фильтрации и анализ фильтрационных течений через пористые среды подробно рассмотрены в работах [16, 17]. Индекс турбулизации  $I_n$  (показатель степени функциональной зависимости (1)) зависит от структуры фильтрационного течения потока газовой фазы через орошаемый жидким абсорбентом насадочный блок и отражает формирование динамики турбулентного течения в каналах насадочного блока для начальных гидрогазодинамических режимов (пленочного, переходного), а для режимов развитой турбулизации и эмульгирования индекс турбулизации отражает динамику турбулентной диффузии и преодоление сил поверхностного натяжения жидкости вихрями потока газовой фазы, а также нарушение граничной поверхности между потоками фаз. При этом вихри потока газовой фазы активно проникают и внедряются в поток жидкого абсорбента (жидкой фазы), что сопровождается развитием поверхности контакта фаз и резкой активизацией массообменных процессов [14, 15].

Следующим этапом программа определяет нижнюю и верхнюю границы режима эмульгирования. Для этого программа входит в цикл, в котором, дождавшись установившегося расхода газового потока и получив с датчиков значения давлений (гидравлического сопротивления) под ( $P_{dn}$ ) и над ( $P_{up}$ ) насадочным блоком, а также скорости газового потока  $V_{sb}$ , рассчитывает мгновенное значение индекса турбулизации и сравнивает его со значением, полученным во время предыдущей итерации, умноженным на коэффициент  $E_{mu}$ . Возрастание индекса турбулизации сверх ожидаемого значения свидетельствует о наличии всплесков индекса турбулизации,

являющихся признаком режима эмульгирования. Определенная при этом скорость газового потока пересчитывается в фиктивную скорость фильтрации газа в начале режима эмульгирования  $VfEmB$  и сохраняется для использования в последующих операциях. После этих операций программа входит в следующий цикл, в котором частота питания воздуходувки  $F2$  увеличивается на 5 Гц (1 Гц), (пока скорость газового потока по датчику  $Vsb$  не станет нулевой), до появления пульсаций потока газовой фазы и непрерывного роста гидравлического сопротивления, что свидетельствует о захлебывании насадочного блока. При этом сохраняется фиктивная скорость фильтрации газового потока, определенная на итерации, предшествующей захлебыванию  $Vfmax$ . После завершения этих действий программа рассчитывает значения промежуточных переменных, накапливающих сумму найденных значений расхода абсорбента и газовой фазы.

После завершения 10 итераций и достижения максимальной заданной интенсивности орошения насадочного блока программа переходит к расчету значений коэффициентов аппроксимации соотношения расходов жидкого абсорбента и газового потока в режиме эмульгирования согласно уравнениям [16]:

$$A = \frac{B \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{Q_{эму\_i}} - \rho_{жс} \cdot \rho_2 \cdot \sum_{i=1}^n L_i}{n \cdot \rho_2} \quad (3)$$

$$B = \frac{\rho_{жс} \cdot \rho_2 \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{Q_{эму\_i}} - n \cdot \rho_{жс} \cdot \rho_2 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{Q_{эму\_i}}}{\left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{Q_{эму\_i}} \right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{(Q_{эму\_i})^2}}, \quad (4)$$

где  $\rho_{жс}, \rho_2$  – плотности соответственно жидкой и газовой фаз кг/м<sup>3</sup>;  $L_i$  – мгновенное значение расхода абсорбента, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{эму\_i}$  – мгновенное значение расхода газа в режиме эмульгирования м<sup>3</sup>/с;  $n$  – количество итераций.

После этого программа производит сохранение всех необходимых данных в энергонезависимую память контроллера. Основным результатом работы алгоритма автокалибровки, являются значения коэффициентов А и В, входящих в основное уравнение математической модели управления [16]:

$$L_i = \frac{A + \sqrt{A^2 + \frac{4B\rho_{жс}(C_n - C_k)}{\rho_2 \cdot K_{НС} \cdot C_n}}}{2\rho_{жс}} \quad (5)$$

где  $L$  – расход абсорбента, м<sup>3</sup>/с;  $X_k$  – конечная объемная концентрация извлекаемого вещества в потоке жидкой фазы, кг/м<sup>3</sup>;  $C_n, C_k$  – начальная и конечная объемные концентрации извлекаемого вещества в потоке газовой фазы, кг/м<sup>3</sup>,  $K_{НС} = X_k / C_n$  – коэффициент насыщения сорбента. Кроме того, в энергонезависимую память контроллера сохраняются значения геометрических характеристик аппарата, плотность

используемого абсорбента и среднеквадратическое отклонение показаний датчика скорости газового потока. На этом процесс автокалибровки завершается.

### Заключение

Таким образом, предлагаемая система автоматизированного управления процессом абсорбции позволяет за счет более точного дозирования абсорбента снизить его расход и, соответственно, затраты на регенерацию, уменьшить время реакции системы на изменение концентрации извлекаемого компонента во входящем газовом потоке и добиться более качественной очистки газовых выбросов промышленных предприятий. Идентификация математической модели существенно уменьшает время проведения пусконаладочных работ и периодического обслуживания массообменного технологического оборудования, а также повышает качество и устойчивость системы управления.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сокол Б.А. и др. *Насадки массообменных колонн*. Под ред. Д.А. Баранова. М.: Инфохим; 2009.
2. Каган А.М. и др. *Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов*. Под ред. Лаптева. Казань: Отечество; 2013.
3. Голованчиков А.Б., Черикова К.В., Прохоренко Н.А. Математическое моделирование колпачковой тарелки в процессах ректификации. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(1).
4. Дмитриев А.В., Мадышев И.Н., Дмитриева О.С., Николаев А.Н. Исследования диспергирования жидкости и газа в контактных устройствах с увеличенным диапазоном устойчивой работы. *Экология и промышленность России*. 2017;21(3):12–15.
5. Мадышев И.Н., Дмитриева О.С., Дмитриев А.В. Перспективы использования струйно-барботажных контактных устройств для повышения энергоэффективности массообменных аппаратов. *Экология и промышленность России*. 2015;19(7):36–39.
6. Голованчиков А.Б., Прохоренко Н.А., Фоменков С.А. Разработка и численное моделирование конструкции колонны для контактирования газа с жидкостью. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(4).
7. Дмитриев А.В., Макушева О.С., Калимуллин И.Р., Николаев А.Н. Вихревые аппараты для очистки крупнотоннажных газовых выбросов промышленных предприятий. *Экология и промышленность России*. 2012;(1):4–7.
8. Тимонин А.С., Божко Г.В., Борщев В.Я., Гусев Ю.И. *Оборудование нефтегазопереработки, химических и нефтехимических производств*. Книга 2. Под общей ред. А.С. Тимонина. М., Инфра-Инженерия; 2019.
9. Носырев М.А., Комляшев Р.Б., Ильина С.И., Кабанов О.В. Очистка газовых выбросов от диоксида серы на промышленных предприятиях. *Экология и промышленность России*. 2018;22(8):24–27.
10. Носырев М.А., Комляшев Р.Б., Ильина С.И. Расчет гидравлического сопротивления и удерживающей способности в абсорберах с псевдосжиженной насадкой. *Экология и промышленность России*. 2013;7:37–41.
11. Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф., Садырева Ю.А. Разработка эффективных аппаратов для очистки газов. *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ*. 2014;7(66):47–50.

12. Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф., Садырева Ю.А. Эффективность очистки абгазов в абсорберах с вращающейся подвижной насадкой. *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ*. 2013;4:37–39.
13. Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф. Очистка промышленных газов в абсорберах с вращающейся подвижной насадкой. *Экология и промышленность России*. 2010;1:18–21.
14. Голованчиков А.Б., Меренцов Н.А., Качанов А.В. Моделирование процесса абсорбции в насадочной колонне, работающей в режиме эмульгирования. *Экология и промышленность России*. 2021;25(3):24–29.
15. Меренцов Н.А., Голованчиков А.Б., Персидский А.В., Топилин М.В. *Моделирование процессов управления в нефтегазоперерабатывающем массообменном оборудовании*: монография. ВолгГТУ. Волгоград; 2021. 212 с.
16. Меренцов Н.А., Персидский А.В., Голованчиков А.Б. Управление массообменными процессами при сорбционной очистке газовых выбросов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022;10(2). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1179>. DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.023

## REFERENCES

1. Sokol B.A. et al. *Packing of mass-exchange columns*. Ed. D.A. Baranov. M.: Infohim, 2009. (In Russ.)
2. Kagan A.M. et al. *Contact packings of industrial heat and mass exchange devices*. Under ed. Laptev. Kazan: fatherland; 2013. (In Russ.)
3. Golovanchikov A.B., Cherkova K.V., Prokhorenko N.A. Mathematical modeling of the cap plate in rectification processes. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2021;9(1). (In Russ.)
4. Dmitriev A.V., Madyshev I.N., Dmitrieva O.S., Nikolaev A.N. Studies of liquid and gas dispersion in contact devices with an increased range of stable operation. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and industry of Russia*. 2017;21(3):12–15. (In Russ.)
5. Madyshev I.N., Dmitrieva O.S., Dmitriev A.V. Prospects for the use of jet-bubbling contact devices to improve the energy efficiency of mass exchangers. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and industry of Russia*. 2015;19(7):36–39. (In Russ.)
6. Golovanchikov A.B., Prokhorenko N.A., Fomenkov S.A. Development and numerical modeling of the column design for gas-liquid contact. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2020;8(4). (In Russ.)
7. Dmitriev A.V., Makusheva O.S., Kalimullin I.R., Nikolaev A.N. Vorchrev apparatus for cleaning large-tonnage gas emissions of industrial enterprises. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and industry of Russia*. 2012;(1):4–7. (In Russ.)
8. Timonin A.S., Bozhko G.V., Borshchev V.Ya., Gusev Yu.I. *Equipment for oil and gas processing, chemical and petrochemical industries*. Book 2. Under the general editor A.S. Timonin. M., Infra-Engineering; 2019. (In Russ.)
9. Nosyrev M.A., Komlyashev R.B., Ilyina S.I., Kabanov O.V. Purification of gas emissions from sulfur dioxide at industrial enterprises. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and industry of Russia*. 2018;22(8):24–27. (In Russ.)
10. Nosyrev M.A., Komlyashev R.B., Ilyina S.I. Calculation of hydraulic resistance and retention capacity in absorbers with a pseudo-liquefied packing. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and industry of Russia*. 2013;7:37–41. (In Russ.)
11. Becker V.F., Kisselman I.F., Sadyreva Y.A. Development of effective apparatus for

- cleaning gases. *Mathematical methods in technology and technology – MMTT*. 2014;7(66):47–50. (In Russ.)
12. Becker V.F., Kisselman I.F., Sadyreva Y.A. Efficiency of abgas cleaning in absorbers with a rotating movable packing. *Mathematical methods in technology and technology – MMTT*. 2013;4:37–39. (In Russ.)
  13. Becker V.F., Kisselman I.F. Purification of industrial gases in absorbers with a rotating movable packing. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and industry of Russia*. 2010;1:18–21. (In Russ.)
  14. Golovanchikov A.B., Merentsov N.A., Kachanov A.V. Modeling the absorption process in a packed column operating in the emulsification mode. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and industry of Russia*. 2021;25(3):24–29. (In Russ.)
  15. Merentsov N.A., Golovanchikov A.B., Persidskiy A.V., Topilin M.V. *Modeling of control processes in oil and gas processing mass exchange equipment: monograph*. VolgaGTU. Volgograd; 2021. 212 p. (In Russ.)
  16. Merentsov N.A., Persidskiy A.V., Golovanchikov A.B. Control of mass transfer processes during sorption purification of gas emissions. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2022;10(2). Available at: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1179>. DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.023. (In Russ.)

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Меренцов Николай Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Российская Федерация.  
*e-mail*: [steeples@mail.ru](mailto:steeples@mail.ru)  
ORCID: [0000-0002-6579-2630](https://orcid.org/0000-0002-6579-2630)

**Nickolay Anatolievich Merentsov**, Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor of Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation.

**Персидский Александр Владимирович**, ведущий инженер-конструктор по электроавтоматике Федерального научно-производственного центра «Титан-Баррикады», Волгоград, Российская Федерация.  
*e-mail*: [a-persidskiy@yandex.ru](mailto:a-persidskiy@yandex.ru)  
ORCID: [0000-0002-6960-9039](https://orcid.org/0000-0002-6960-9039)

**Alexander Vladimirovich Persidskiy**, Lead Electrical Automation Engineer-Designer of Federal Scientific and Production center “Titan-Barricady”, Volgograd, Russian Federation.

**Голованчиков Александр Борисович**, доктор технических наук, профессор Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Российская Федерация.  
*e-mail*: [steeples@mail.ru](mailto:steeples@mail.ru)  
ORCID: [0000-0002-4576-4229](https://orcid.org/0000-0002-4576-4229)

**Alexander Borisovich Golovanchikov**, Doctor Of Technical Sciences, Professor of Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 13.05.2022; одобрена после рецензирования 14.06.2022; принята к публикации 28.06.2022.*

*The article was submitted 13.05.2022; approved after reviewing 14.06.2022; accepted for publication 28.06.2022.*