

А. В. Зуев, В. И. Иванчура, А. А. Федоренко

МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЗАДАЮЩЕГО БЛОКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

Рассмотрена функция и структура задающего элемента автоматической системы управления процессом декарбонизации. Определена и смоделирована экспериментальная зависимость требуемой мощности вентилятора в функции параметров декарбонизатора, процесса декарбонизации и водно-газовой системы.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, декарбонизация, коррозионная агрессивность.

Надежность и экономичность теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения в значительной мере зависят от интенсивности внутренней коррозии оборудования и трубопроводов под действием циркулирующей в них воды. Коррозионная агрессивность воды обусловлена рядом физико-химических факторов, среди которых одним из главных является присутствие в воде растворенных газов, особенно кислорода и диоксида углерода CO_2 .

Основным типом декарбонизаторов, применяемых в теплоэнергетических водоподготовительных установках, являются противоточные насадочные декарбонизаторы с кольцами Рашига. В них удаление CO_2 осуществляется при контакте обрабатываемой воды с атмосферным воздухом, нагнетаемым вентилятором.

В настоящее время вентилятор для декарбонизатора выбирается при его проектировании исходя из расчетной максимальной производительности, а следовательно, величина расхода воздуха на декарбонизацию постоянна [1]. Однако при работе декарбонизатора с неполной нагрузкой вентилятор продолжает работать с полной про-

изводительностью, подавая в декарбонизатор избыточное количество воздуха, что приводит к перерасходу электроэнергии на его привод. Для более качественного удаления углекислоты из воды при меньших затратах электроэнергии процесс декарбонизации необходимо автоматизировать (рис. 1).

В данной схеме управление скоростью вращения вентилятора декарбонизатора осуществляется на основе системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» (ПЧ–АД).

Важнейшим элементом автоматизированной системы является задающий блок, основная функция которого состоит в расчете требуемой мощности вентилятора декарбонизатора $N_{\text{вент}}$ по требуемой остаточной концентрации CO_2 в зависимости от геометрических параметров декарбонизатора (номинального размера насадки, площади поперечного сечения колонки декарбонизатора, объема насадки колец Рашига, сопротивления элементов декарбонизатора), параметров процесса (расхода и температуры воды, исходного содержания CO_2) и параметров гетерогенной дисперсной системы (ускорения

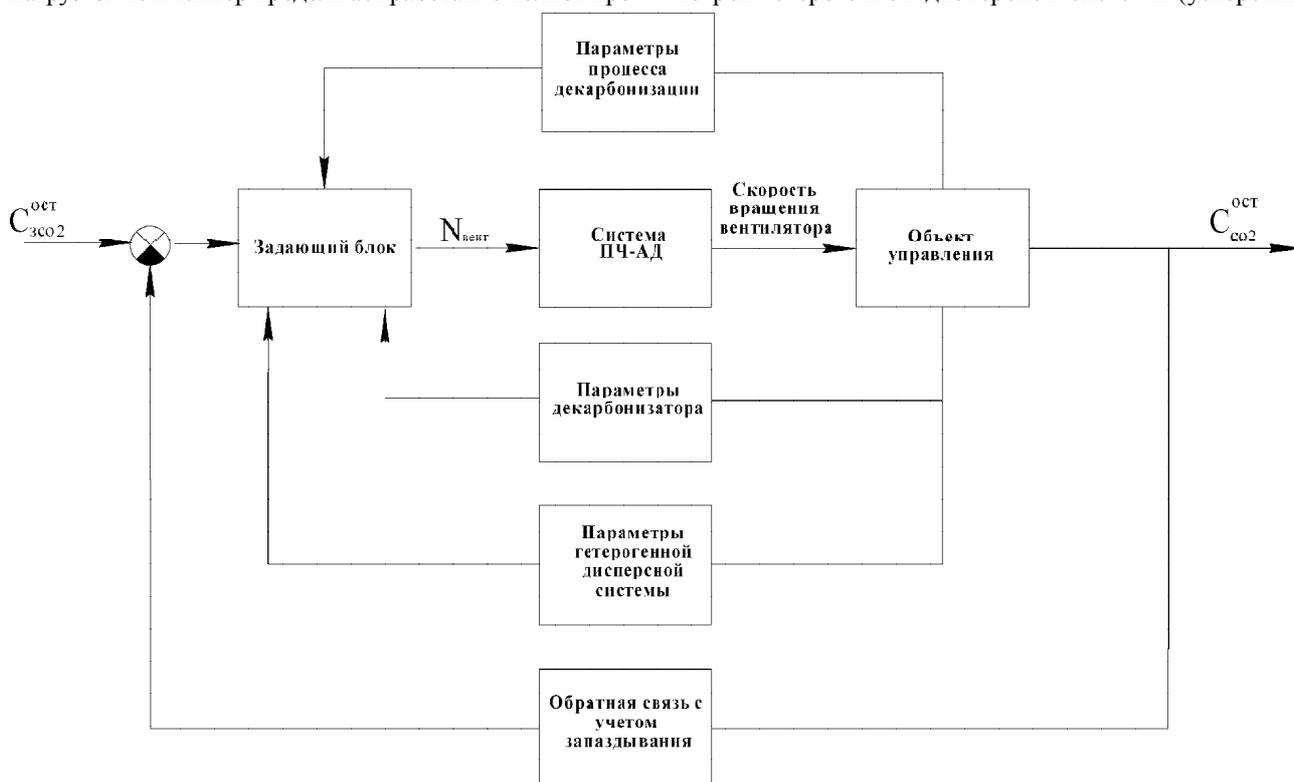


Рис. 1. Структурная схема автоматизации процесса декарбонизации

свободного падения, плотности воздуха, динамической вязкости воды).

Рассмотрим структуру (рис. 2) и работу задающего блока более подробно.

Логический блок Б1 служит для определения расхода воздуха в зависимости от основных параметров процесса декарбонизации: $G_{н.в}$ – расхода воды, т/ч; $t_{н.в}$ – температуры воды, °С; $C_{CO_2}^{исх}$ – исходной концентрации CO_2 , мг/кг; $C_{CO_2}^{ост}$ – требуемой остаточной концентрации CO_2 , мг/кг. Математическая реализация этого блока приведена в уравнении регрессии зависимости остаточной концентрации $C_{CO_2}^{ост}$ от параметров декарбонизации [2].

Блоки Б2 и Б7 – это блоки коэффициентов запаса. Коэффициент запаса принимаем равным 1, 2.

Блок Б3 предназначен для определения приведенной скорости воздуха в декарбонизаторе [3]:

$$\omega_0 = \frac{D_{вент}}{3600S}, \quad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения колонки декарбонизатора, м² (см. табл. 2.2.3 [3]).

Логический блок Б4 используется для определения параметров X и Y [3]:

$$X = \frac{G_{н.в}}{S\omega_0}, \quad (2)$$

где $G_{н.в}$ – расход воды, м³/с;

$$Y = \frac{CFr_r}{Re_{усл}^{0,1}}, \quad (3)$$

где коэффициент C выбирается по табл. 2.24 [3]; Fr_r – критерий Фурда для газа:

$$Fr_r = \frac{\omega_0^2}{gd}, \quad (4)$$

здесь g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с², d – номинальный размер насадки, м; $Re_{усл}$ – условный критерий Рейнольдса для газа:

$$Re_{усл} = \frac{\omega_0 d \rho_r}{\mu_{ж}}, \quad (5)$$

здесь ρ_r – плотность воздуха, кг/м³, $\mu_{ж}$ – динамическая вязкость воды, Па · с.

Блок Б5 предназначен для определения сопротивления 1 м орошаемой насадки $P_{оп}/H$ в зависимости от значений X и Y . Величина $P_{оп}/H$ находится по графикам рис. 3 [3] после их преобразования в вычислительном блоке.

В блоке Б6 величина $P_{оп}/H$ умножается на высоту насадки H , определяемой по формуле

$$H = \frac{V_{нас}}{S}, \quad (6)$$

где $V_{нас}$ – объем насадки, м³. Выходом данного блока является сопротивление насадки.

Блок Б8 служит для перевода единицы измерения расхода воды из тонн в час (т/ч) в кубические метры в секунду (м³/с).

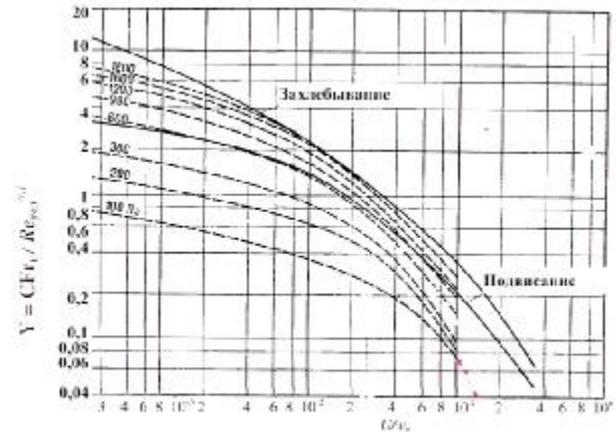


Рис. 3. Зависимость $P_{оп}/H$ от Y и $X(U/\omega_0)$

Блок Б9 реализует сопротивление элементов декарбонизатора, Па.

Блок Б10 для рассчитывает требуемую мощность вентилятора. Этот параметр определяется по формуле

$$N_{вент} = \frac{D_{вент} \cdot P_{вент}}{3600\eta_{вент}}, \quad (7)$$

где $\eta_{вент}$ – коэффициент полезного действия вентилятора, %.

На основе рассмотренных выше соотношений в пакете MATLAB была построена модель задающего блока для получения требуемой мощности вентилятора (рис. 4). Расчет проводился для декарбонизатора с кольцами Рашига $25 \cdot 25 \cdot 3$, который имеет следующие параметры: $S = 9,25$ м²; $d = 0,025$ м; $C = 1$; $V_{нас} = 13,4$ м³; сопротивление элементов декарбонизаторов $P_{эл} = 650$ Па; КПД вентилятора принят 80 %. Физические параметры гетерогенной дисперсной системы: $\mu_{ж} = 0,01$ Па · с; $\rho_r = 1,2$ кг/м³.

Разработанная модель состоит из следующих блоков:

- блок D_u определяет требуемый расход воздуха вентилятора;
- блок Fr определяет критерий Фурда для газа (4);
- блок $1/Re^{0,1}$ вычисляет величину, обратную условному критерию Рейнольдса в степени 0,1 (5);

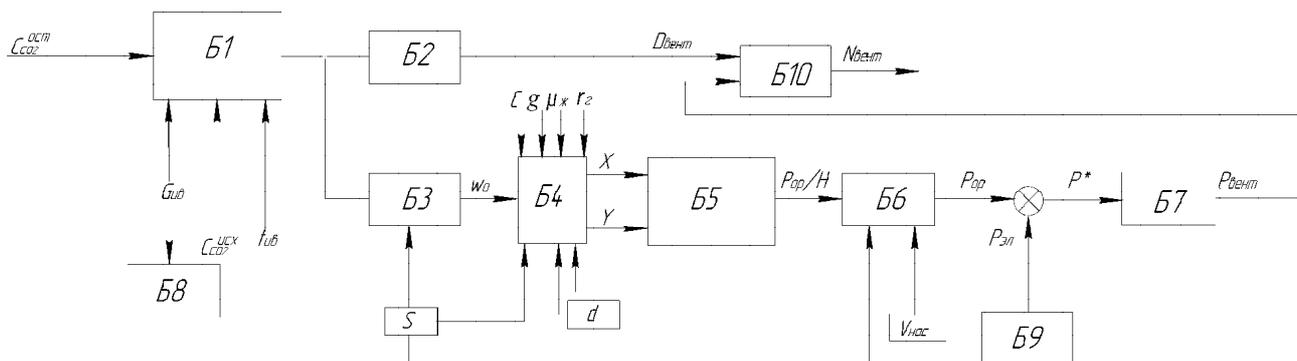


Рис. 2. Структурная схема задающего блока

- блок P_{op}/H рассчитывает сопротивления 1 м орошаемой насадки;
- блоки Subsystem1...Subsystem4 используются как делители.

По результатам проведенных на модели экспериментов можно сделать следующие выводы:

- для уменьшения мощности приводного двигателя вентилятора необходимо, чтобы были обеспечены полная нагрузка декарбонизатора (500 т/ч воды), подогрев исходной воды и увеличена требуемая остаточная концентрация углекислого газа $C_{CO_2}^{ост}$;
- зависимости преобретают линейный характер при исходной концентрации газа 60...70 мг/кг. Следовательно, при больших исходных концентрациях газа можно структурно упрощать задающий блок.

Модель задающего элемента системы автоматического управления процессом декарбонизации является универ-

сальной, для ее настройки достаточно изменить параметры процесса, параметры декарбонизатора и дисперсной системы. Полученный задающий блок можно применять в автоматизированной системе управления во всех противоточных насадочных декарбонизаторах с кольцами Рашига.

Библиографический список

1. Кастальский, А. А. Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки / А. А. Кастальский. М. : Госстройиздат, 1957.
2. Зуев, А. В. Частотно-управляемый асинхронный привод / А. В. Зуев, В. И. Иванчура // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. 1 (18). С. 34–37.
3. Шарапов, В. И. Декарбонизаторы водоподготовительных установок систем теплоснабжения / В. И. Шарапов, М. А. Сивухина. М. : АСВ, 2000.

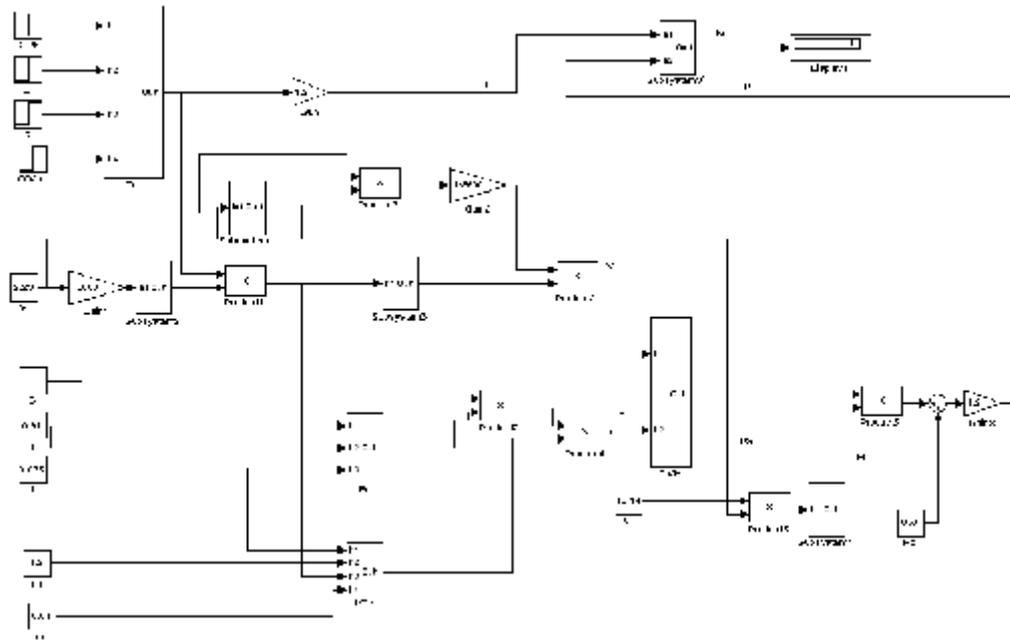


Рис. 4. Модель задающего блока, полученная в пакете MATLAB

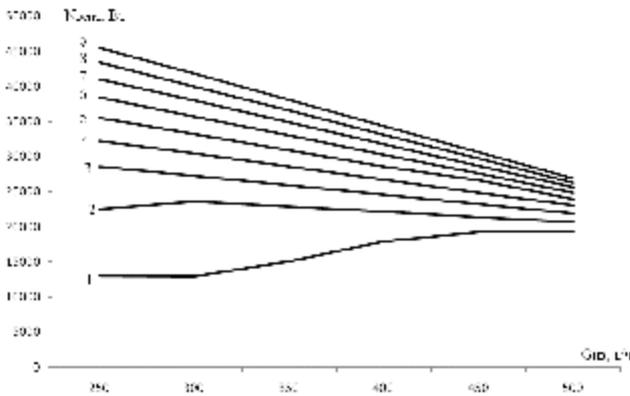


Рис. 5. Зависимость мощности вентилятора от производительности декарбонизатора при $C_{CO_2}^{ост} = 3$ мг/кг, $t_{и.в} = 15$ °С: 1 – $C_{CO_2}^{исх} = 20$ мг/кг; 2 – $C_{CO_2}^{исх} = 30$ мг/кг; 3 – $C_{CO_2}^{исх} = 40$ мг/кг; 4 – $C_{CO_2}^{исх} = 50$ мг/кг; 5 – $C_{CO_2}^{исх} = 60$ мг/кг; 6 – $C_{CO_2}^{исх} = 70$ мг/кг; 7 – $C_{CO_2}^{исх} = 80$ мг/кг; 8 – $C_{CO_2}^{исх} = 90$ мг/кг; 9 – $C_{CO_2}^{исх} = 100$ мг/кг

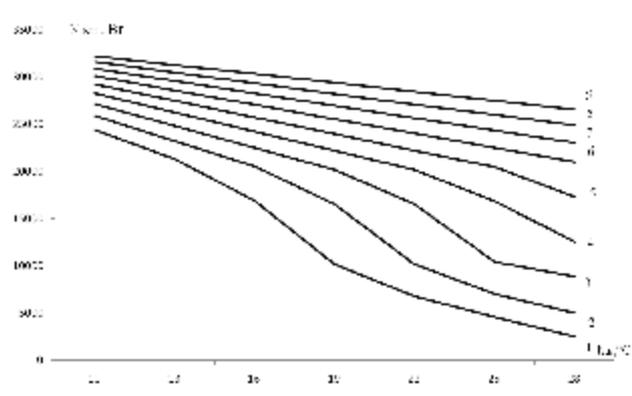


Рис. 6. Зависимость мощности вентилятора от температуры исходной воды при $C_{CO_2}^{ост} = 3$ мг/кг, $G_{и.в} = 450$ т/ч: 1 – $C_{CO_2}^{исх} = 20$ мг/кг; 2 – $C_{CO_2}^{исх} = 30$ мг/кг; 3 – $C_{CO_2}^{исх} = 40$ мг/кг; 4 – $C_{CO_2}^{исх} = 50$ мг/кг; 5 – $C_{CO_2}^{исх} = 60$ мг/кг; 6 – $C_{CO_2}^{исх} = 70$ мг/кг; 7 – $C_{CO_2}^{исх} = 80$ мг/кг; 8 – $C_{CO_2}^{исх} = 90$ мг/кг; 9 – $C_{CO_2}^{исх} = 100$ мг/кг

A. V. Zuev, V. I. Ivanchura, A. A. Fedorenko

MODELING UNIVERSAL ASSIGNING BLOCK AUTOMATED MANAGERIAL SYSTEM BY DECARBONIZATION PROCESS

The paper considers function and structure assigning element of the automated system of the process. The experimental dependency required powers of the ventilator in functions parameter decarbonizator; parameter of the process and water-gas system are defined and prototyped.

Keywords: automated control system, decarbonization, corroding aggressiveness.

© Зувев А. В., Иванчура В. И., Федоренко А. А., 2009

УДК 621.7(07)

Е. Н. Гарин

АППАРАТУРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Определено влияние параметров временной шкалы аппаратуры радионавигации на работу систем слежения за сигналом навигационного космического аппарата. Сформированы оценки радионавигационных параметров сигнала.

Ключевые слова: погрешность, измерения, частота, опорный генератор, навигационный космический аппарат, фаза.

На погрешность измерения псевдодальностей оказывает влияние нестабильность опорного генератора (ОГ). Автором было проведено исследование влияния параметров временной шкалы аппаратуры радионавигации (АРН) на работу систем слежения за сигналом навигационного космического аппарата (НКА) и формирование оценок радионавигационных параметров сигнала.

Шкала времени АРН формируется на основе частоты ОГ [1]. Однако следует отметить, что используемые ОГ не идеальны в силу нестабильности их частоты, что отражается на шкале времени АРН. Различают кратковременную и долговременную нестабильность ОГ. При решении задачи определения относительных координат интерес представляет кратковременная нестабильность частоты, т. е. относительно быстрые изменения частоты сигнала ОГ, происходящие, например, на интервале 1 с. Долговременная нестабильность частоты не оказывает влияния на работу следящих систем, поэтому в данном случае ее можно не учитывать.

Необходимо задать модель поведения частоты и фазы ОГ, на основе которых будет сформирована шкала времени АРН. Ниже будет использована модель нестабильности ОГ, основанная на следующих положениях.

Изменение частоты Δf_k , происходящее на интервалах времени постоянной длительности Δt_k , есть случайная величина с нормальным законом распределения и нулевым средним. При этом предполагается, что значение нестабильности частоты δ на соответствующем интервале времени, определяемое в паспортных данных ОГ (например, $1 \cdot 10^{-11}$ за 1 с), представляет собой предельное (3δ) значение случайного изменения частоты Δf_k за этот интервал.

Если значение нестабильности ОГ на некотором интервале времени Δt равно δ , то это означает, что к моменту завершения каждого очередного интервала времени Δt_k текущее значение частоты ОГ f_k может измениться относительно значения частоты $f(k-1)$, действовавшего на начало интервала Δt_k на случайную величину, предельное значение которой определяется выражением

$$\Delta f_{\max} = \delta \cdot f_k. \quad (1)$$

С учетом того что обеспечиваемые ОГ значения отклонения частоты много меньше номинального значения частоты ОГ, в выражении (1) значение частоты $f(k-1)$ можно заменить на значение номинальной частоты ОГ f_n . Тогда

$$\Delta f_{\max} = \delta \cdot f_n. \quad (2)$$

Рассмотрим два варианта модели изменения частоты на интервале времени Δt_k вследствие ее нестабильности: линейный и скачкообразный.

В случае линейного изменения частота ОГ меняется в течение всего интервала времени Δt_k линейно, начиная с нулевого значения и достигая в конце интервала того значения Δf_k , которое случайным образом выпало на данный интервал [2]. Этот вариант является, вероятно, наиболее близким к реальным процессам, происходящим в ОГ. Описываемое такой моделью изменение частоты будет происходить, если производная частоты скачком изменится в начале интервала Δt_k и останется неизменной на всем его протяжении. В таком случае значение производной частоты может быть определено следующим образом:

$$f_k' = \frac{\Delta f_k}{\Delta t}. \quad (3)$$