Определено, что количество входных/выходных каналов контроллера типа Pixel-2511 является достаточным для данной системы приточно-вытяжной вентиляции. Спроектированная и изготовленная приточно-вытяжная вентиляция с автоматической системой управления отвечала требованиям технического задания на проект и национальных стандартов.

Результаты выполненного проекта имеют практическое значение как для настоящей, так и для последующей бизнес-деятельности предприятия.

УДК 517.935

А.Ю. Вдовин, С.С. Рублева
(A. Yu. Vdovin, S.S. Rubleva)
УГЛТУ, Екатеринбург
(USFEU, Ekaterinburg)

О ТОЧНОСТИ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ, НЕПОСРЕДСТВЕННО ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ПСЕВДООБРАЩЕНИЕ (ON THE ACCURACY OF THE METHOD OF DYNAMIC REGULARIZATION, DIRECTLY USING THE PSEUDOINVERSE)

Рассматривается система, линейная по неизвестному воздействию. В рамках динамического подхода для его нахождения предложен метод, непосредственно использующий процедуру псевдообращения. Получены оценки его точности в метрике пространства измеримых функций.

A system linear in the unknown effects is considered. Within the framework of a dynamic approach, a method that directly uses the pseudo-inversion procedure has been proposed for its determination. Estimates of its accuracy are obtained in the metric of the space of measurable functions.

Предлагаемый доклад продолжает серию работ авторов посвященных динамическому решению обратных задач динамики. В [1] на практических примерах подчеркивалась важность изучения моделирования воздействия $v(\cdot)$ в системе, описываемой обыкновенными дифференциальными уравнениями

$$x' = g\left(t, x(t)\right) + f\left(t, x(t)\right)v(t), \quad x(a) = x_a,\, t \in T = \left[a, b\right] \tag{1}$$

Здесь при $t \in T$: $x(t) \in R^m, v(t) \in Q \subset R^q$ Q – выпуклый компакт; $g(\cdot), f(\cdot)$ – отображения $\left[a,b\right] \times R^m$ в R^m и пространство матриц размерности $m \times q$. Информация о фазовых состояниях $x(\cdot)$ системы (1) доступна лишь в узлах разбиения $t_i : a = t_0 < t_1 < \ldots < t_n = b$ погрешностью $h > 0$: $\left| x_h(t_i) - x(t_i) \right| \le h$, предполагается, что $t_{i+1} - t_i = \Delta(h)$.

Для решения этой задачи в рамках динамического подхода, т. е. при моделировании воздействия в режиме реального времени (без использования информации из будущего), будем использовать метод динамической регуляризации [2]. Этот подход основан на введении вспомогательной системы – модели из теории позиционных дифференциальных игр.
При $t \in [t_i, t_{i+1}]$

$$w_h(t) = w_h(t_i) + \left(g(t_i, x_h(t_i)) + f(t_i, x_h(t_i)) v_i \right)(t - t_i), \ w_h(a) = x_h(a),$$

$w_h(t)$ отслеживает состояние $x(t)$ исходной системы за счет выбора управления v_i – проекции на компакт Q-вектора:

$$v_i = f^T(t_i, x_h(t_i)) \frac{x_h(t_i) - w_h(t_i)}{\alpha(h)}, \tag{2}$$

где $\alpha(h)$ – параметр алгоритма. При этом, как показано в той же работе (при условии, что отображения $g(\cdot), f(\cdot)$ удовлетворяют условию Липшица по совокупности переменных), кусочно-постоянное управление $v_h(\cdot)$, построенное на каждом шаге $[t_i, t_{i+1})$ по правилу (2), является приближением нормального воздействия $v_*(\cdot)$ исходной системы (обладающего минимальной нормой) в метрике пространства L_2: $\lim\limits_{h \to 0} \| v_*(\cdot) - v_h(\cdot) \|_{L_2(T)} = 0$.

При изучении свойств численных алгоритмов, помимо вопросов, связанных с условием сходимости метода, немаловажной становится задача о выборе параметров метода $\alpha(h)$, $\Delta(h)$ для достижения наилучшей точности. В [3] получена оценка в метрике пространства L_1 при дополнительных условиях (*), накладываемых на систему (1). Показано, что при выборе $\Delta(h) = h, \ \alpha(h) = h^{\frac{k+1}{2k+1}}$, где $k \in N$, порядок точности при $k \to \infty$ стремится к оптимальному, равному ½. Выполнение этих условий позволяет отказаться от процедуры проектирования на компакт.

Вычислительные эксперименты показали, что этот метод обладает высокой зашумленностью. Поэтому дальнейшие исследования были посвящены вопросу о ее снижении, а также возможности увеличения шага (что представляет особый практический интерес). Первый результат в этом направлении был получен для задачи численного дифференцирования – частного случая системы (1): $\dot{x} = u, \quad t \in T, \quad x(a) = x_0$.

В последнем докладе на международной конференции «Оптимальное управление и дифференциальные игры», г. Москва, 12 – 14 декабря 2019 г., была предложена модификация исходного метода с системой-моделью

$$w_h\left(t_{i+1}\right) = w_h\left(t_i\right) + u_i\Delta(h),\ \ w_h(a) = x_h(a), \tag{3}$$

и выбором приближения воздействия $$u_h = \frac{x_h(t_{i+1}) - w_h(t_{i+1})}{\alpha(h)}. \tag{4}$$

Теорема 1. Пусть $u(\cdot)$ обладает ограниченной вариацией, $\alpha(h), \alpha(h)/\Delta(h) \to 0$ при $h \to 0$, $0 \in Q$. Тогда найдутся константы $C_1, C_2 > 0$ такие, что

$$\left\| u(\cdot) - u_h(\cdot) \right\|_{L_1(T)} \le \frac{h}{\Delta(h)} C_1 + C_2 \frac{\alpha(h)}{\alpha(h) + \Delta(h)} + \mathop{\mathrm{V}}_a^b u(\cdot)\Delta(h).$$

При выборе параметров $\Delta(h) = \sqrt{h},\ \alpha(h) = h$ достигается оптимальный порядок точности, равный 1/2, а шаг увеличивается на порядок по сравнению с исходным методом.

Целью настоящей работы является распространение полученного результата на систему (1). Отметим, что вид (1) позволяет осуществить ее разрешение относительно нормального воздействия:

$$v_*(t) = \left(f(t, x(t)) \right)^+ \left(\dot{x}(t) - g(t, x(t)) \right).$$

Тогда в качестве его приближения на промежутке $\left[t_i, t_{i+1}\right]$ выбирается

$$v_h(t) \equiv v_h(t_{i+1}) = \left(f(t_{i+1}, x_h(t_{i+1})) \right)^+ \left(u_h(t_{i+1}) - g(t_{i+1}, x_h(t_{i+1})) \right),$$

где $u_h(t_{i+1})$ определяется правилом (4).

Теорема 2. Пусть выполнены условия теоремы 2 и условие (*) из [3], тогда найдутся положительные константы C_3, C_4, C_5, C_6 такие, что

$$\left\| v_*(\cdot) - v_h(\cdot) \right\|_{L_1(T)} \le \frac{h}{\Delta(h)} C_3 + C_4 \frac{\alpha(h)}{\alpha(h) + \Delta(h)} + C_5 \mathop{\mathrm{V}}_a^b u(\cdot)\Delta(h) + C_6 h \tag{5}$$

Доказательство. При $t \in \left[t_i, t_{i+1}\right]$ справедлива

$$\left| v_*(t) - v_h(t) \right| \le \left\| f^+(t, x(t)) \right\| \left| (\dot{x} - u_h(t)) + Lh \right| + \left\| f^+(t, x_h(t)) - f^+(t, x(t)) \right\| \left| u_h(t) - g(t, x(t)) \right|.$$

Пусть при всех $t \in T$ положительное число λ ограничивает снизу минимальные собственные числа матрицы $f(t, x(t)) f^T(t, x(t))$, тогда, например см. [3], с учетом теоремы 1, найдутся положительные числа M_u, M_g, L_+ такие, что: $\left\| f^+(t, x_h(t)) - f^+(t, x(t)) \right\| \le L_+ h$, $\left\| f^+(t, x(t)) \right\| \le 1/\sqrt{\lambda}$, $\left\| g(t, x(t)) \right\| \le M_g$, $\left| u_h(t) \right| \le M_u$, поэтому

$$\left\| v_*(\cdot) - v_h(\cdot) \right\|_{L_1(T)} \le \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \left(\frac{h}{\Delta(h)} C_1 + C_2 \frac{\alpha(h)}{\alpha(h) + \Delta(h)} + \mathop{\mathrm{V}}_a^b u(\cdot)\Delta(h) + Lh \right) + L_+ h \left(M_u + M_g \right),$$

следовательно, определены C_3, C_4, C_5, C_6 такие, что справедлива оценка (5). Теорема доказана.

Тот же выбор параметров метода, что и в теореме 1, гарантирует порядок точности, равный ½.

Библиографический список

1. Вдовин А.Ю., Рублева С.С. О точности реконструкции линейного воздействия на динамическую систему по результатам неточных измерений ее состояний // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесн. вестник. 2008. № 3. С. 189–191.

2. Osipov Yu.S., Kryazhimskii A.V. Inverse problems for ordinary differential equations: dynamical solutions. London: Gordon and Breach, 1995. 625 p.

3. Вдовин А.Ю., Рублева С.С. О гарантированной точности процедуры динамического восстановления управления с ограниченной вариацией в системе, зависящей от него линейно // Математические заметки. 2010. Т. 87. № 3. С. 337–358.

УДК 621.771.2.06:658.382

Е.И. Ионова, Н.В. Сырейщикова
(E.I. Ionova, N.V. Syreishchikova)
ЮУрГУ, Челябинск
SUSU, Chelyabinck

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЗАГРУЗКИ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ
(DEVELOPING OF AN OPTIMAL DOWNLOAD MODEL OF ROLLING MILLS)

Приведены результаты работы по созданию оптимальной модели загрузки прокатных станов заказами пересекающегося сортамента для условий промышленного предприятия, что позволило увеличить доход предприятия за счет снижения себестоимости изготовления продукции и увеличить объемы производства за счет снижения временных затрат.

The results of work on the creation of an optimal loading model for rolling mills with orders of an intersecting mix for the conditions of an industrial enterprise are presented. It allowed increasing the income of the enterprise due to decrease in the cost price of production of products and to expand production volumes by decreasing of time consuming.

Постановлением Правительства РФ от 30.03.2018 г. № 368-15 утверждена государственная программа РФ «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» для создания в РФ конкурентоспособной, устойчивой, структурно-сбалансированной промышленности, способной к эффективному саморазвитию на основе интеграции в мировую