



МГТУ имени Н.Э. Баумана
Студенческая научная весна
Аэрокосмический факультет
май 2020



3. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ДОПУСТИМЫХ СОСТОЯНИЙ РЕЛЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ИЗМЕРИТЕЛЯМИ

Автор:

студент гр. АК1-101 **Тарасов** *Валерий Александрович*

Руководитель:

к.т.н., доцент каф. СМ-2 **Симоньянц** *Ростислав Петрович*

Москва, 2020

Проблема

В релейной системе стабилизации с линейным формированием управляющего сигнала при использовании нелинейных датчиков (с зонами нечувствительности, ограничениями линейности и поля зрения) при гашении начальных отклонений по углу и угловой скорости, могут возникнуть режимы ротационного движения с малой угловой скоростью, что приведёт к нарушению требований быстродействия и может рассматриваться как аварийное.

Задача

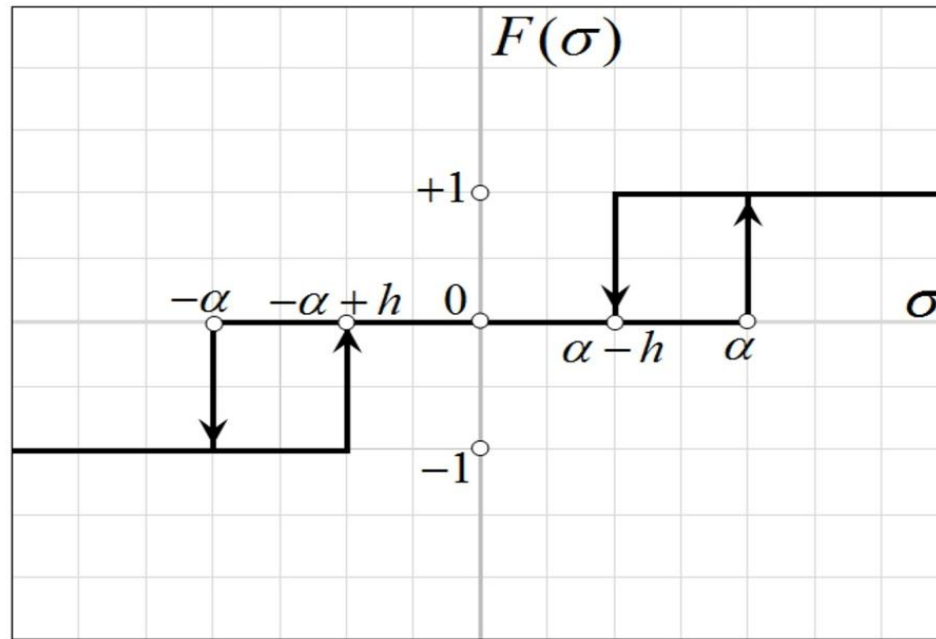
Необходимо исследовать динамику указанного режима и определить в аналитической форме границы области состояний, в которых рассматриваемый режим не возникает. Знание границ этой области позволяет синтезировать оптимальные алгоритмы управления движением системы с существенно нелинейными датчиками.

Методы исследования

- Аналитические методы «Качественной теории динамических систем на плоскости»
- Метод припасовывания
- Метод численного моделирования на ЭВМ

Динамическая модель

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_i}{dt} = y_i, \quad \frac{dy_i}{dt} = g_i - a_i \cdot F(\sigma_i) \\ \sigma_i = u_i(x_i, \gamma_{ni}) + k \cdot v_i(y_i, \beta_{pi}), \\ F_i(\sigma_i) = 1/2 \left[\operatorname{sgn}(\sigma_i - \alpha_i + h_i \cdot F_{0i}) + \operatorname{sgn}(\sigma_i + \alpha_i + h_i \cdot F_{0i}) \right], \\ i = \overline{1,3}; \quad n = \overline{1,3}; \quad p = \overline{1,2}. \end{array} \right.$$



Исследуемые нелинейности системы

$$\gamma_{ni}, \beta_{pi}, i = \overline{1,3}; \quad n = \overline{1,3}; \quad p = \overline{1,2}$$

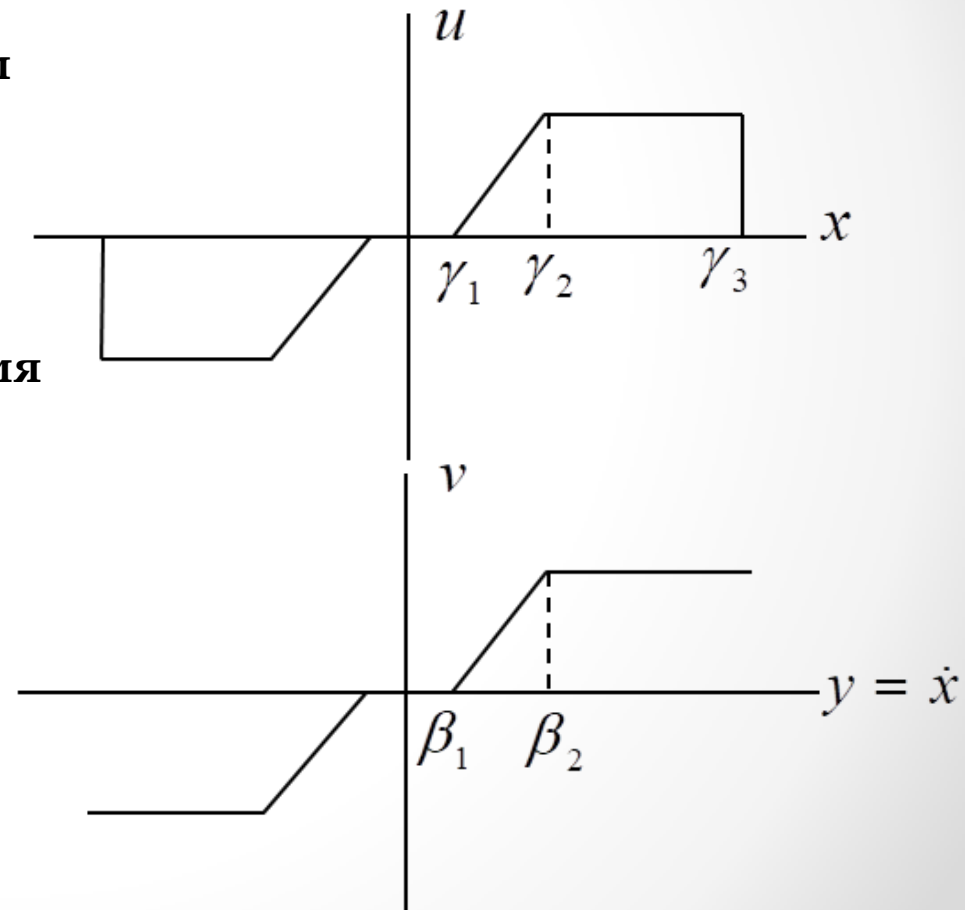
γ_1 — порог чувствительности датчика угла

γ_2 — порог насыщения датчика угла

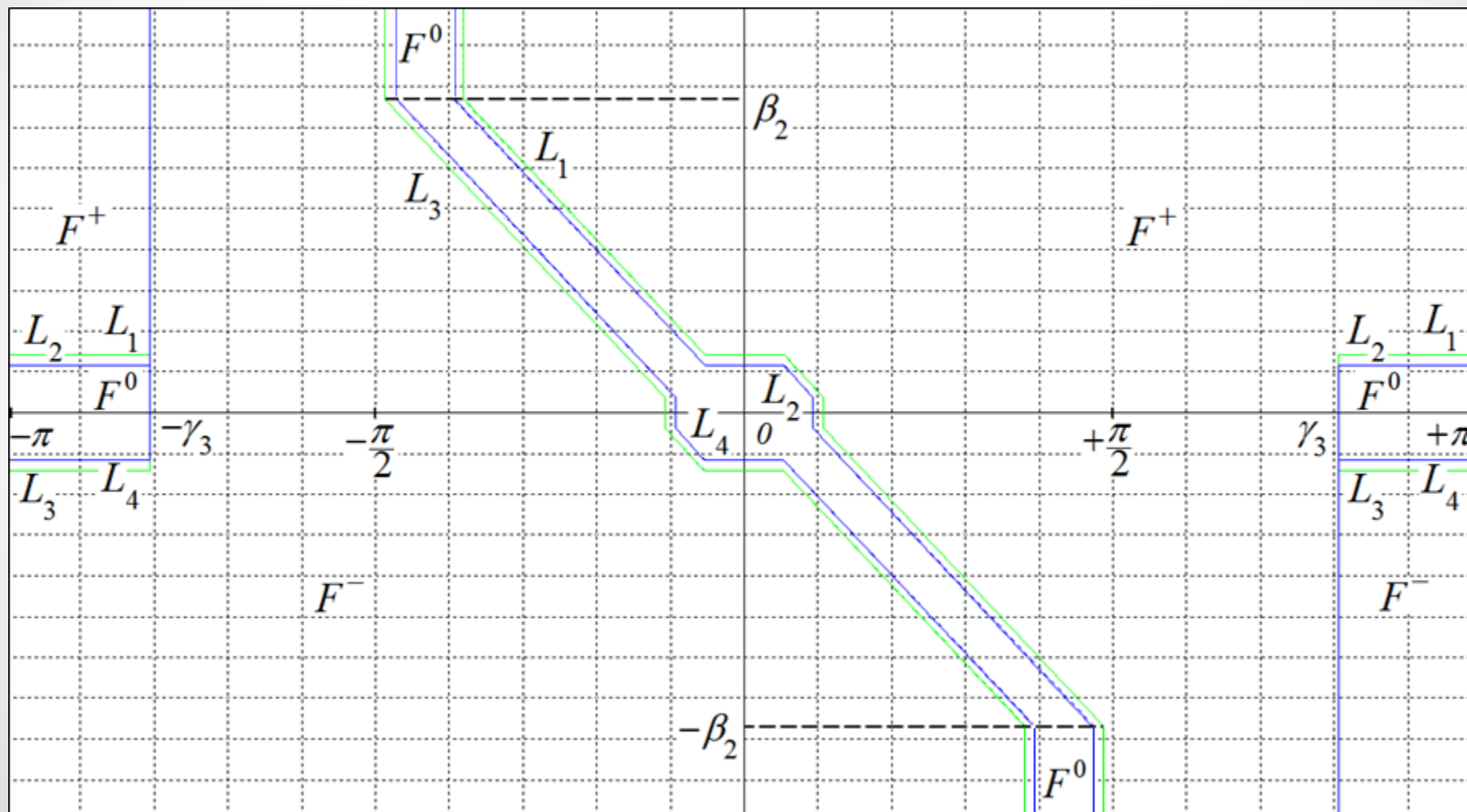
γ_3 — Ограничение поля зрения датчика угла

β_1 — порог чувствительности датчика скорости

β_2 — порог насыщения датчика скорости

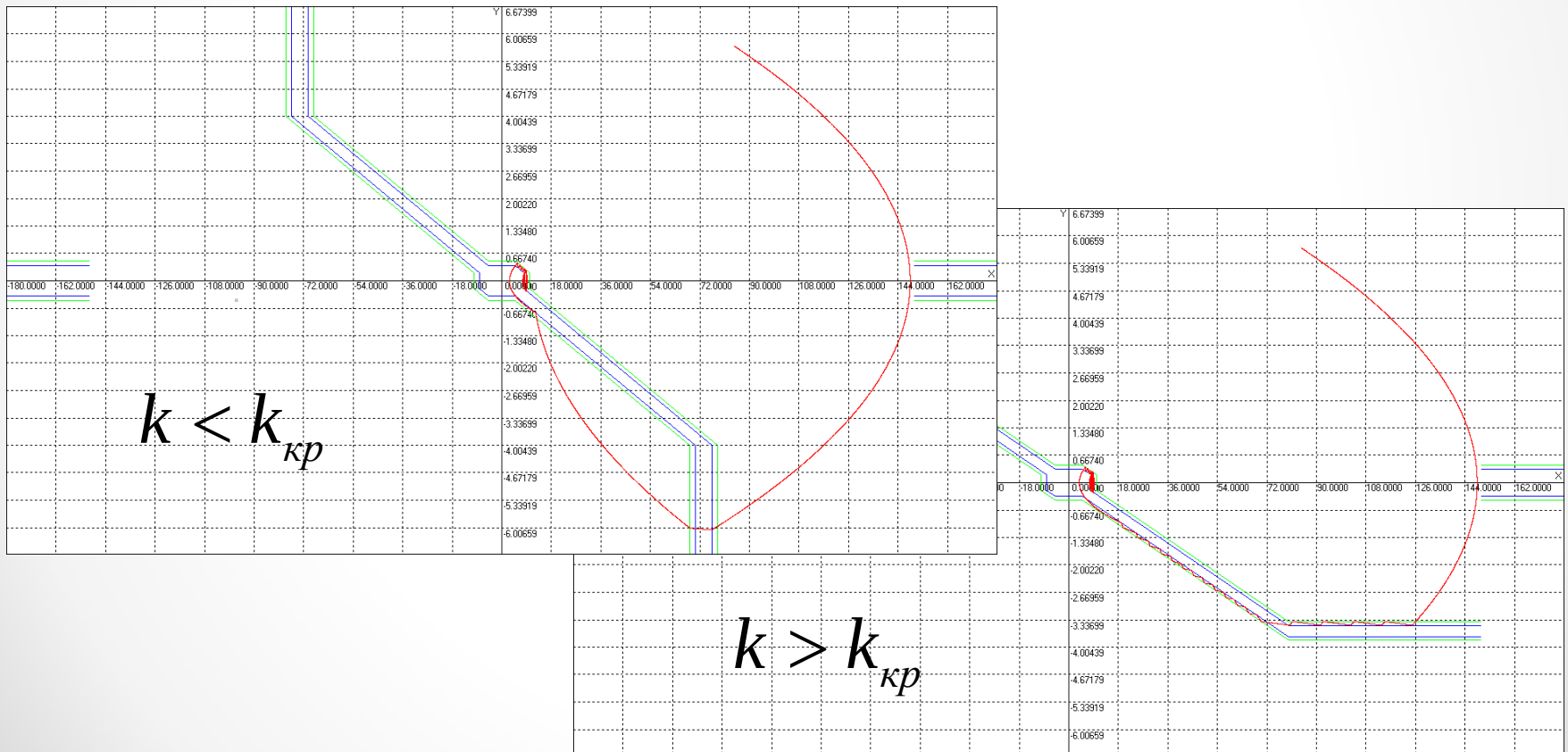


Листы F^+ , F^0 , F^- на развертке фазового цилиндра с учётом нелинейности датчиков



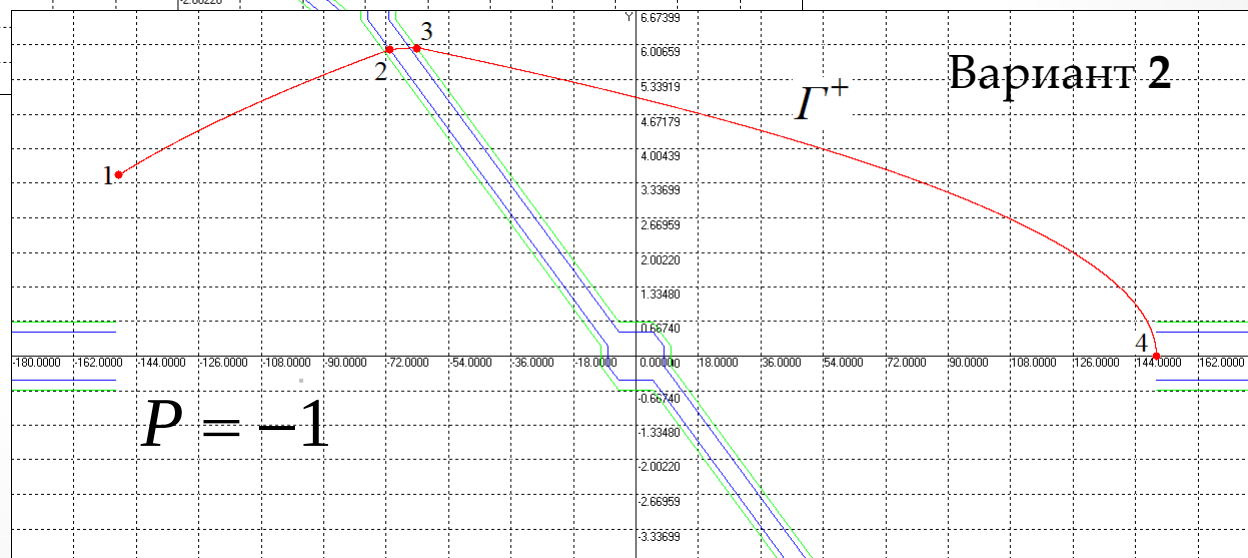
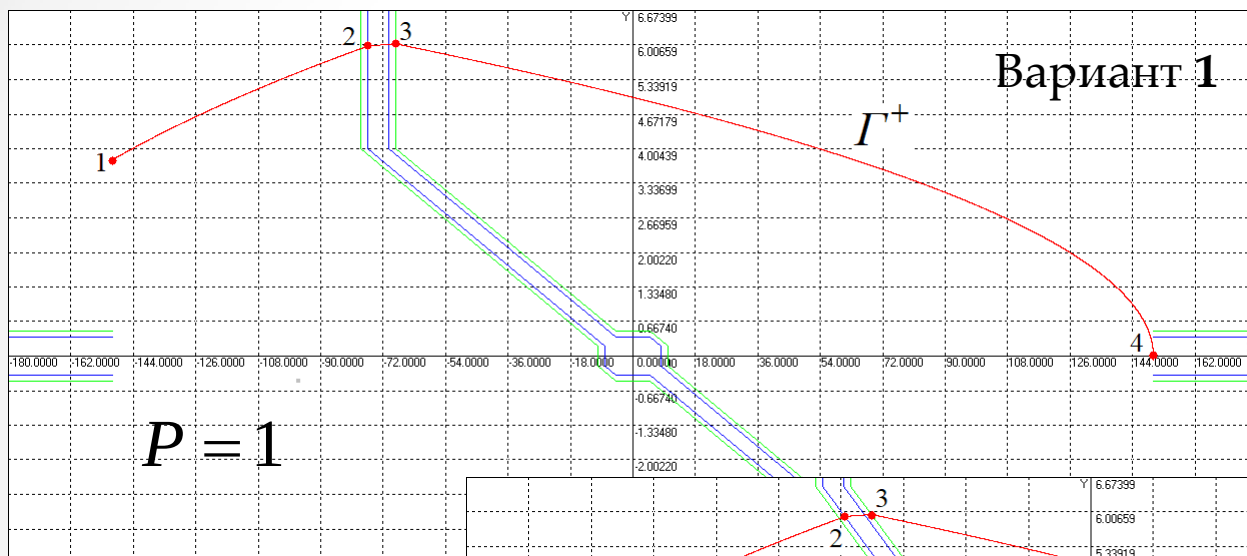
Выбор коэффициента усиления сигнала скорости k

$$k < k_{кр}, \quad \text{при } k_{кр} = \frac{\gamma_2 - \gamma_1 - \alpha + h}{\beta_2 - \beta_1}$$

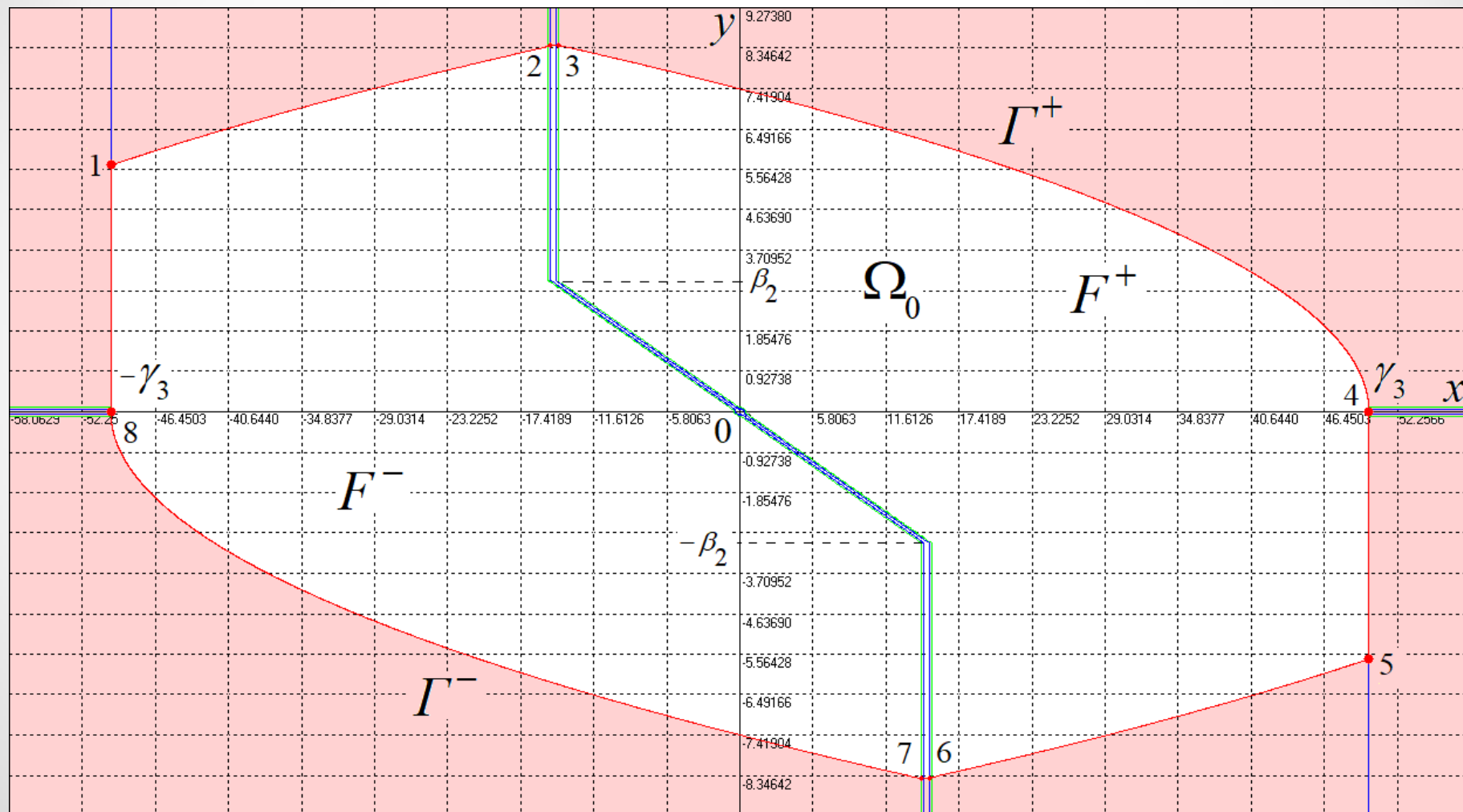


К определению граничной траектории

$$P = \text{sign} \left[(a - g)k - \beta_2 - \sqrt{(a - g) \left((a - g)k^2 + 2(\gamma_1 + \gamma_2 - \alpha - k\beta_1) \right)} \right]$$



Границы области допустимых состояний



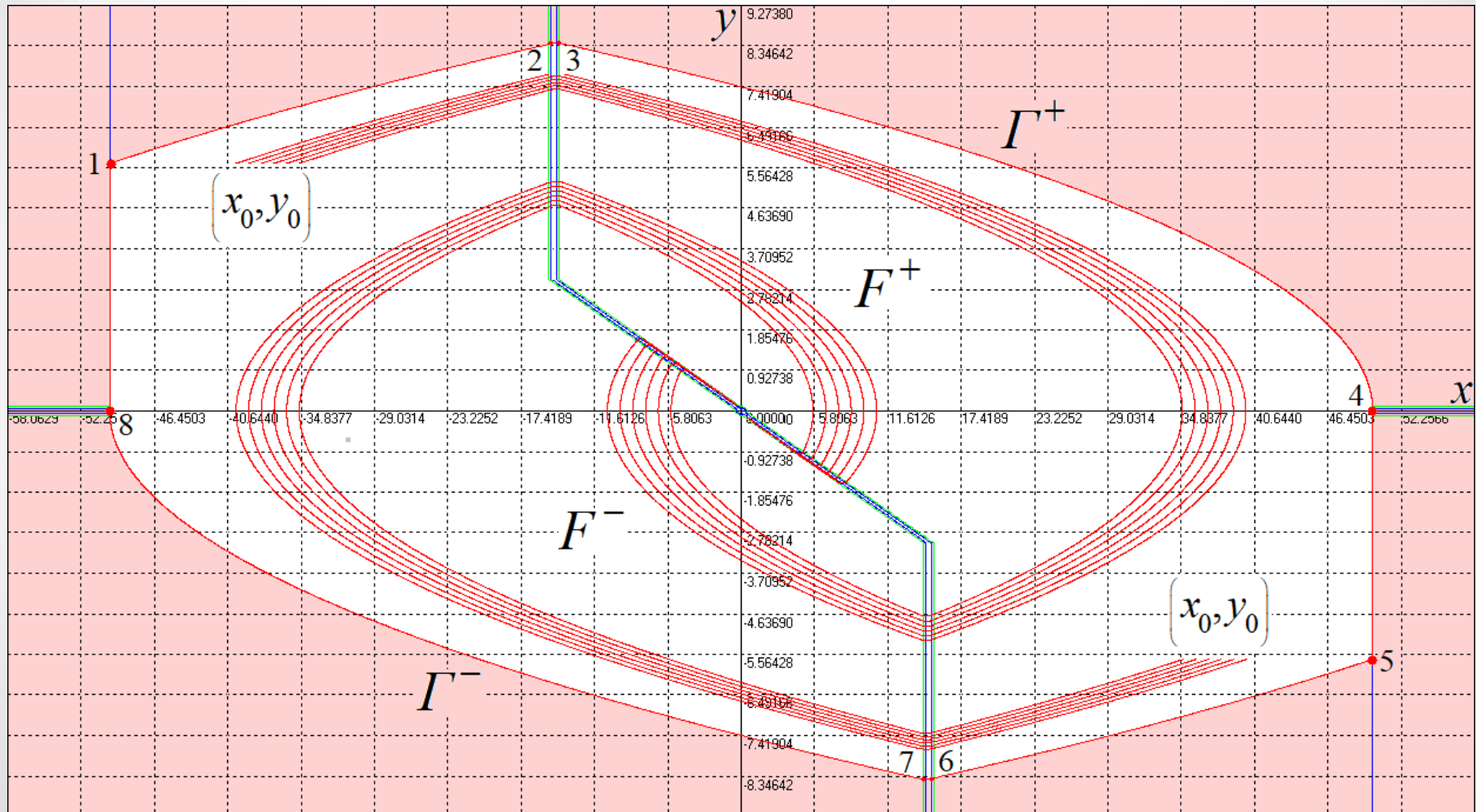
Аналитические выражения границ

$$\Gamma^+ : \begin{cases} x = -\gamma_3, & \text{уч.8 - 1} \\ \frac{y^2}{2} - (a + g)x = \frac{1}{2}(E_{2\epsilon} + E_{2\eta}) + \frac{P}{2}(E_{2\epsilon} - E_{2\eta}), & \text{уч.1 - 2} \\ \frac{y^2}{2} - gx = \frac{1}{2}(E_{3\epsilon} + E_{3\eta}) + \frac{P}{2}(E_{3\epsilon} - E_{3\eta}), & \text{уч.2 - 3} \\ \frac{y^2}{2} + (a - g)x = (a - g)\gamma_3, & \text{уч.3 - 4} \end{cases}$$

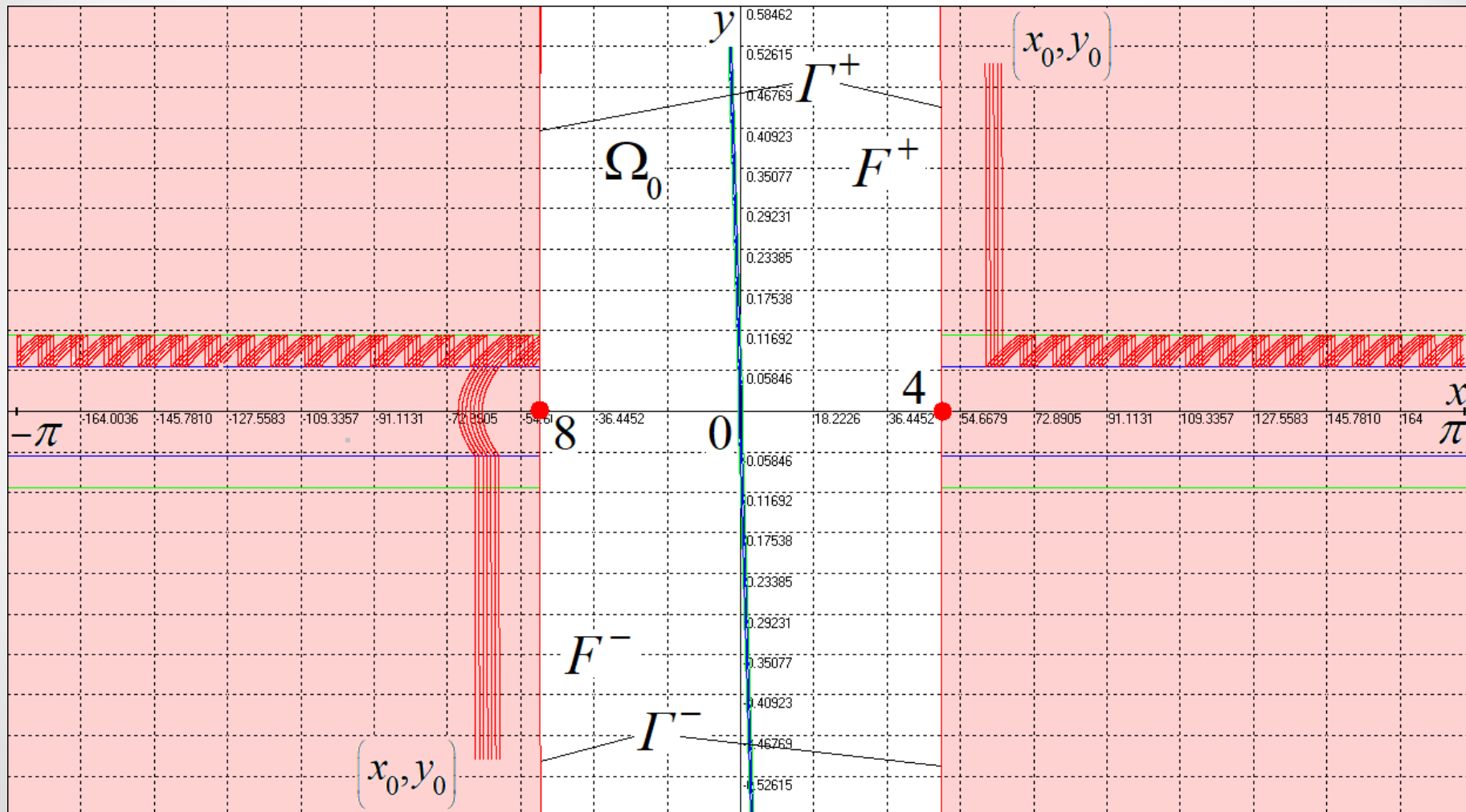
$$\Gamma^- : \begin{cases} x = \gamma_3, & \text{уч.4 - 5} \\ \frac{y^2}{2} + (a - g)x = \frac{1}{2}(E_{6\epsilon} + E_{6\eta}) + \frac{P}{2}(E_{6\epsilon} - E_{6\eta}), & \text{уч.5 - 6} \\ \frac{y^2}{2} - gx = \frac{1}{2}(E_{7\epsilon} + E_{7\eta}) + \frac{P}{2}(E_{7\epsilon} - E_{7\eta}), & \text{уч.6 - 7} \\ \frac{y^2}{2} - (a + g)x = -(a + g)\gamma_3, & \text{уч.7 - 8} \end{cases}$$

$$\text{где } E_i = \frac{y_i^2}{2} + a \cdot F_0(\sigma) \cdot x_i - gx_i$$

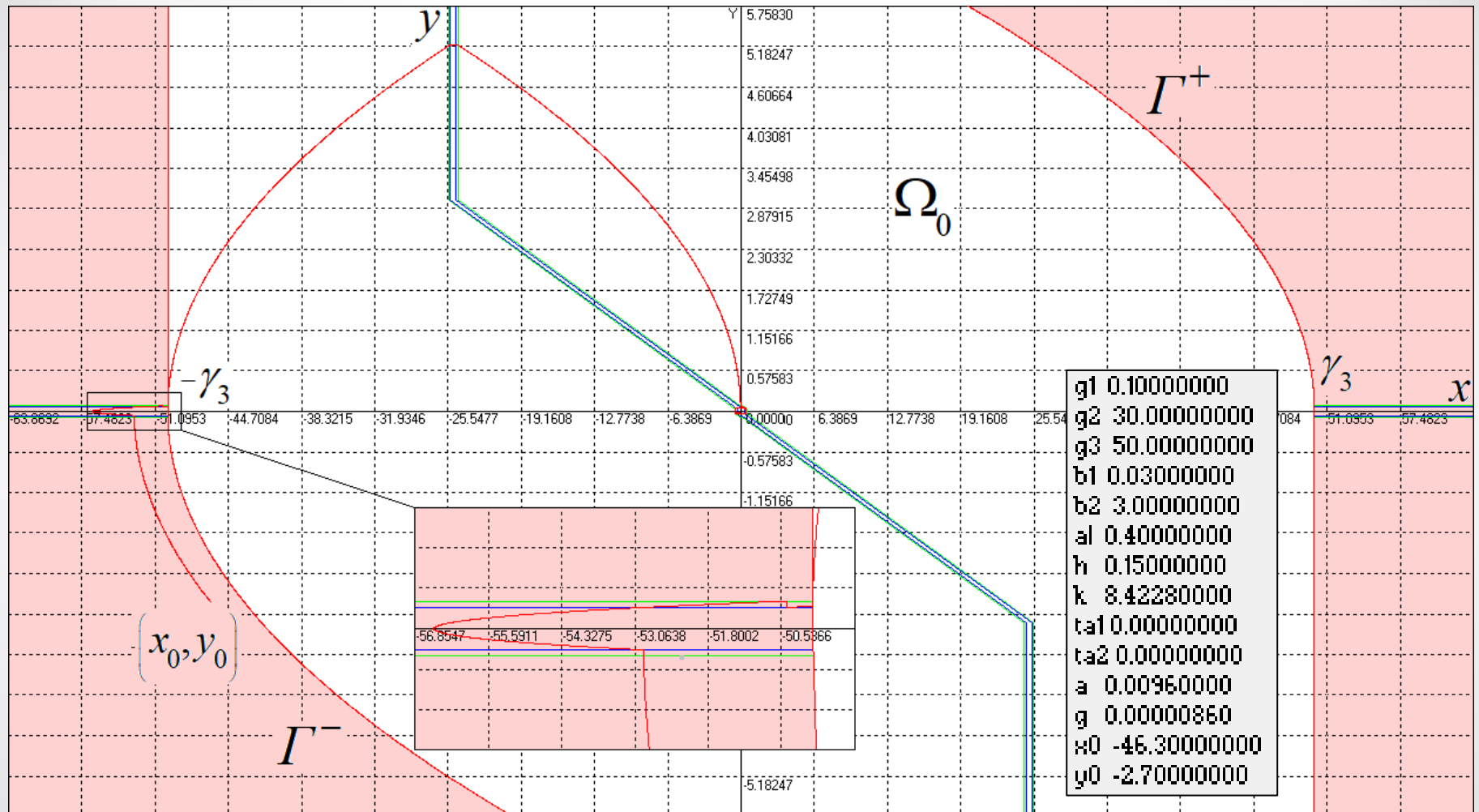
Результаты моделирования процессов в допустимой области состояний



Результаты моделирования за пределами области допустимых состояний



Результаты моделирования



$$T_{III} = 309c. \quad T_{C\epsilon D} = 285,52c.$$

Результаты

Применением методов качественной теории динамических систем и компьютерного моделирования для релейной системы с нелинейными измерителями состояния на поверхности фазового цилиндра найдены в аналитической форме границы области, в которой могут быть реализованы алгоритмы оптимального управления.

Показано, что нарушение найденных условий приводит к

- скачкообразному увеличению длительности переходных процессов
- может привести к аварийной ситуации связанной с затяжным переворотом на 360° .

Полученные результаты позволяют в системе с нелинейными датчиками избежать возможных аварийных режимов и оптимизировать переходные процессы.

Дальнейшее исследование предполагает рассмотрение влияния запаздываний исполнительных органов.

Список литературных источников

1. Андронов А.А., Леонтович Е.А., Гордон И.И., Майер А.Г. Качественная теория динамических систем второго порядка. Изд-во Наука, -М., 568 с.
2. Симоньянц Р.П. Обеспечение качества процессов управления в релейной системе без датчика скорости // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 10. С. 152-178. DOI: 10.7463/1014.0729606
3. Зубов Н.Е., Микрин Е.А., Рябченко В.Н., Олейник А.С., Ефанов Д.Е. Оценка угловой скорости космического аппарата в режиме орбитальной стабилизации по результатам измерений датчика местной вертикали // Вест. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2014. № 5. С. 3–17.
4. Симоньянц Р.П. Методы пассивной ориентации и стабилизации космических аппаратов : учебное пособие / Р. П. Симоньянц. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 132, [2] с ил. ISBN 978-5-7038-4326-0
5. Фалдин Н.В., Феофилов С.В. Исследование периодических движений в релейных системах, содержащих звенья с ограничителями // Известия РАН. Теория и системы управления, №2, 2007, с. 15 – 27.