

УДК 681.518.3(045)

В. М. Синеглазов, д-р техн. наук, проф.,  
В. П. Подольский

## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Институт аэрокосмических систем управления НАУ, e-mail: [iesy@nau.edu.ua](mailto:iesy@nau.edu.ua)

*Проведен анализ алгоритмов для реализации автоматизированной системы управления фундаментными плитами вибростендов при их подъеме на заданную высоту, удержании при вибрационных испытаниях и опускании на упоры. Показано, что процесс подъема фундаментных плит представляет собой динамический процесс, от качества которого зависят дальнейшие вибрационные испытания.*

**Ключевые слова:** фундаментная плита, алгоритм, автоматизированное рабочее место оператора, перемещение, автоматизированная система управления.

**Актуальность исследования.** Современный уровень развития космической техники требует использования автоматизированных средств контроля при проведении испытаний. Особенное значение при испытании объемных и тяжелых конструкций имеет использование автоматизированных систем управления и контроля. Для подъема фундаментных плит стендов использовалось оборудование, которое не обеспечивало достаточную точность, надежность и безопасность, т. е. зависело в большой степени от человеческого фактора. Поэтому есть неотложная потребность в разработке автоматизированной системы, в том числе надежного алгоритмического обеспечения, которое реализует подъем фундаментных плит оператором в директивном режиме.

**Описание стенда.** Объектами, положение которых необходимо контролировать и корректировать относительно стояночных упоров, расположенных на фундаменте или строительных конструкциях испытательного корпуса, являются (рис. 1):

- фундамент стенда 136-2000;
- фундамент стенда 137-2841.

Исследуемое изделие (3), размещенное в вертикальном положении на виброплатформе (6), установлено на одной из фундаментных плит (ФП) стенда 136-2000.

Фундамент стенда 136-2000 являет собой 2 ФП (ФП1 и ФП2) – железобетонные блоки с габаритами 15000×8000×5500 мм и массой 1100 т каждый (1).

Фундамент стенда 137-2841 (ФП3) – это железобетонный блок с габаритами 5000×5000×4500 мм и массой 260 т (2).

В нерабочем состоянии ФП размещены на стояночных упорах, которые установлены на силовом полу испытательного зала.

Рабочее состояние ФП – подъем в вертикальном направлении над упорами на высоту  $50 \pm 10$  мм.

Максимальный допустимый по условиям безопасной эксплуатации оборудования подъем ФП составляет 100 мм.

Подъем ФП стенда 136-2000 обеспечивается 10 вертикальными пневмоопорами (ВПО) (4) с максимальным рабочим давлением воздуха 7,5 МПа, а стенда 137-2841 – 4 ВПО с максимальным рабочим давлением воздуха 2,5 МПа.

Горизонтальная фиксация ФП осуществляется:

- в стенде 136-2000 – 30 горизонтальными пневмоопорами (ГПО) (5) с рабочим давлением до 0,5 МПа;
- в стенде 137-2841 – 8 ГПО с рабочим давлением до 0,5 МПа.

Вертикальные пневмоопоры каждой из ФП стенда 136-2000 подключены к четырем каналам пульта 136-1399 по несимметричной схеме:

первый канал – ВПО1, ВПО2, ВПО3, ВПО4, ВПО7, ВПО8, ВПО9; второй канал – ВПО5; третий канал – ВПО6; четвертый канал – ВПО10.

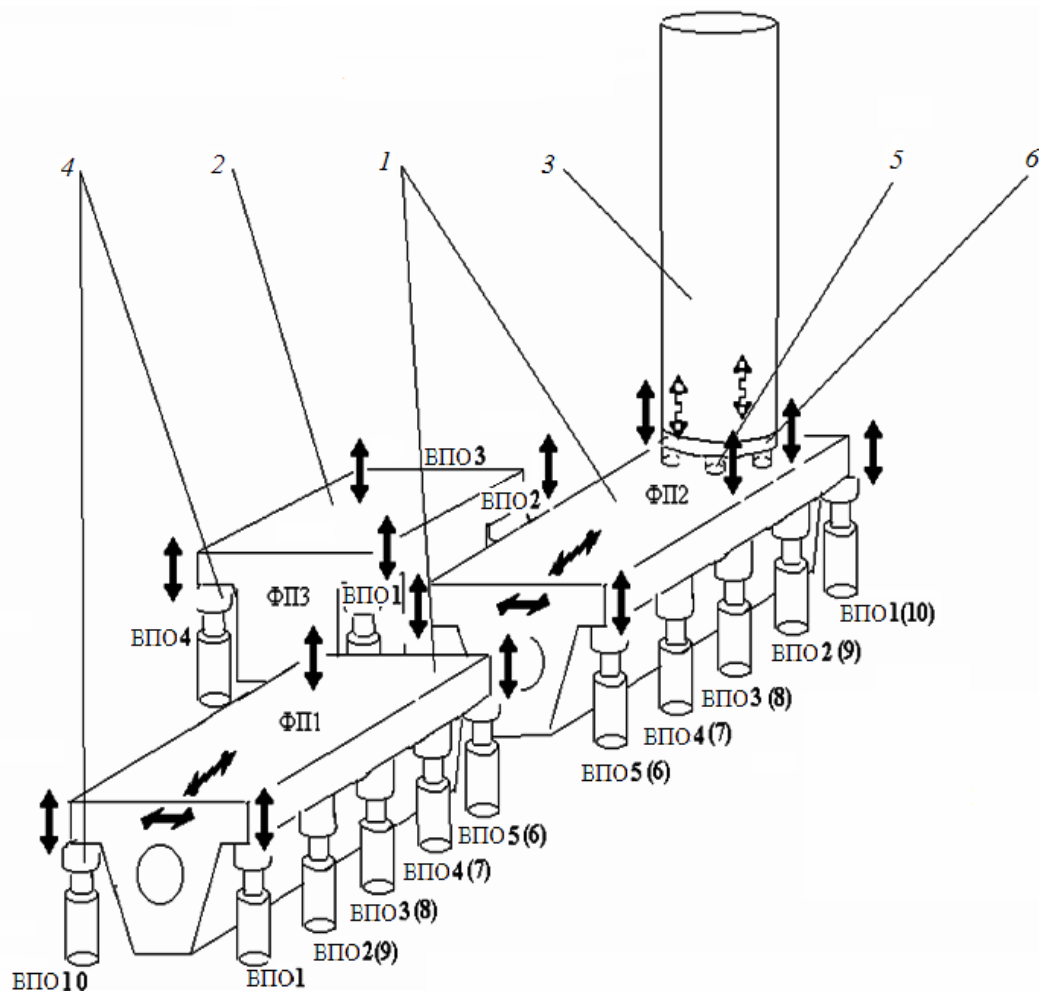


Рис. 1

Таким образом, первый канал является основным, его ВПО способны поднять ФП над стояночными упорами. Вертикальные пневмоопоры второго, третьего и четвертого каналов выполняют корректирующее действие на ФП.

Соединение ГПО каждой ФП из электропневмопультотом выполнено по симметричной схеме. Первый и второй каналы обеспечивают виброизоляцию, корректирование положения и удержание ФП в продольном, а третий и четвертый каналы – в поперечном направлениях.

**Постановка задачи.** Разработка алгоритмов контроля и управления положением фундаментов стендов с повышенной точностью, необходимой при испытании космической техники. Разработка алгоритмов автоматизированной системы управления, обеспечивающих подъем ФП стендов в директивном режиме на заданную высоту  $50 \pm 25$  мм от стояночных упоров, поддержании ФП на данной высоте, опускании ФП на стояночные упоры. В процессе подъема, удерживания, опускания ФП необходимо производить анализ нештатных ситуаций.

1. Начальное положение ФП. Начальное состояние ФП1 находится на стояночных упорах, давление во всех опорах четырех каналов разное, и в целом оно меньше, чем надо для поднятия ФП в рабочее положение.

Рабочее положение отвечает горизонтальному положению монтажного поля ФП при расстоянии  $50 \pm 25$  мм нижней поверхности ФП от стояночных упоров. Датчики положения должны быть установлены так, чтобы базовые точки их крепления находились в плоскости, параллельной монтажному полю ФП.

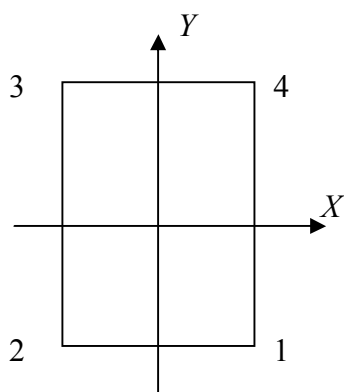


Рис. 2

Для управления перемещением используются каналы наддува и дренажа ВПО и ГПО. Для каждой ФП можно выделить четыре канала управления процессом подъема ФП с обратными связями по положению соответствующих углов и давлению в ВПО и два канала управления перемещением в горизонтальной плоскости  $X$  и  $Y$ .

При реализации алгоритма управления принята следующая нумерация каналов управления ФП и направление осей координат согласно рис. 2.

Ось координат вертикального перемещения направлена вертикально вверх и проходит через геометрический центр монтажной плоскости ФП.

2. Описание алгоритмов. Общий алгоритм управления в директивном режиме состоит из четырех режимов: “Подъем”, “Стабилизация”, “Опускание”, “Специальный режим” (рис. 3).

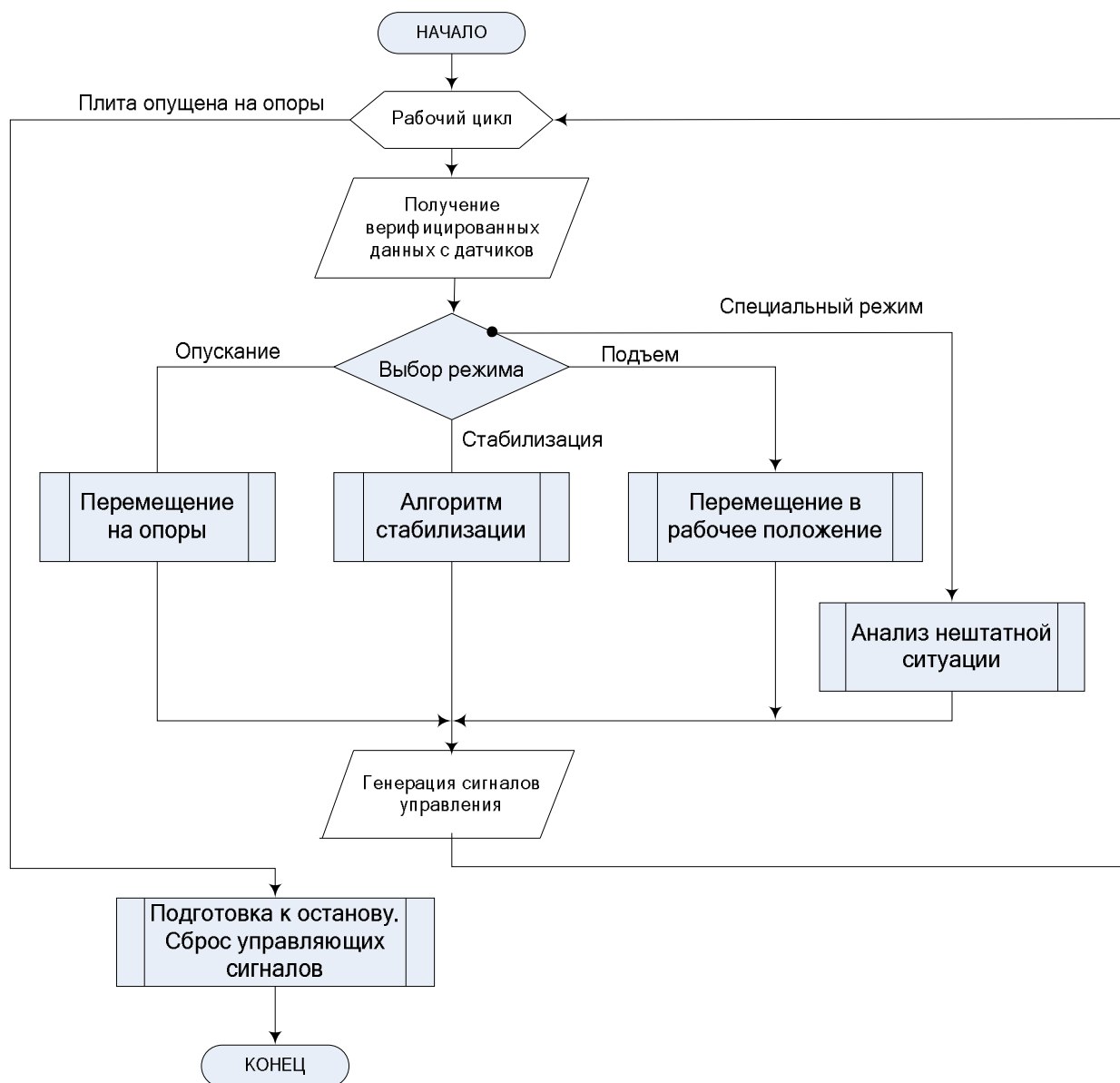


Рис. 3

Начало и окончание работы. Началом рабочего цикла считается запуск программы управления, которая функционирует циклически в непрерывном режиме до подачи управляющего сигнала об окончании работ.

При запуске производится диагностика оборудования и информационных каналов, по окончании выполняются необходимые проверки состояния объекта управления и запускается процедура останова системы.

Опрос датчиков и элементов управления. Информация от датчиков и элементов управления принимается драйверами соответствующих устройств ввода-вывода и каналов связи циклически в непрерывном режиме.

Для проверки достоверности данных применяются следующие алгоритмы [1]:

- взаимные блокировки телесигналов (ТС) и сигналов телеуправления (ТУ);
- проверка телеизмерений (ТИ) на скачок измеряемого значения;
- проверка соответствия ТИ диапазону возможных значений;
- цифровой фильтр ТИ положения при включенной виброустановке.

Подсистема опроса работает по следующему алгоритму, показанному на рис. 4.

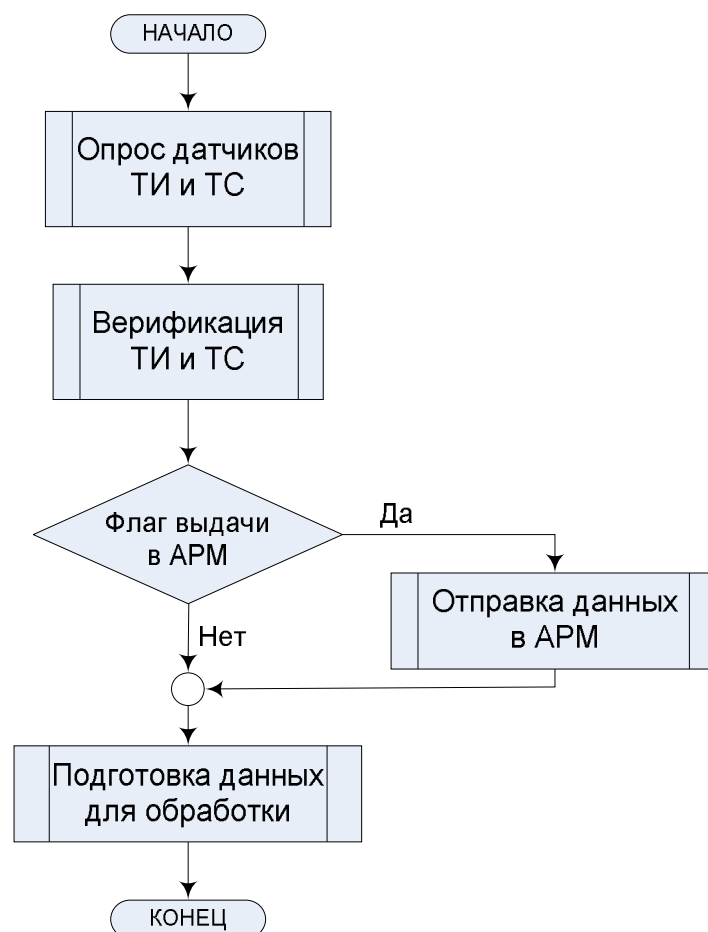


Рис. 4

Расчет параметров объекта. Предварительный расчет и верификация параметров объекта управления – расчет абсолютных значений положения ФП с учетом заданных начальных координат, вычисление перекоса с нахождением максимального и минимального значений координат и отклонений.

В ходе расчета производится верификация основных координат на выполнение соотношения

$$H_1 + H_3 = H_2 + H_4,$$

где  $H_1, H_2, H_3, H_4$  – абсолютные значения вертикального положения углов ФП.

Перечень используемых параметров, их содержание приведены в таблице и показаны на рис. 5.

**Таблица параметров**

| Обозначение                                              | Наименование параметра                                                                                   | Примечание                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $H_1, H_2, H_3, H_4$                                     | Абсолютные значения вертикального положения углов ФП                                                     | $H_i = H_i^* - H_{si}$ , где $H_i^*$ – показания датчика; $H_{si}$ – показания датчика когда ФП находится на упорах |
| $H_z^*$                                                  | Заданное абсолютное значение вертикального положения монтажной плоскости ФП                              | Задаваемый параметр                                                                                                 |
| $H_z$                                                    | Промежуточное целевое абсолютное значение вертикального положения монтажной плоскости ФП                 | Вычисляемый параметр (см. алгоритм подъема рис. 6)                                                                  |
| $\Delta H_1, \Delta H_2, \Delta H_3, \Delta H_4$         | Абсолютные значения отклонения вертикального положения углов ФП от текущего $H_z$                        | $\Delta H_i = H_i - H_z$                                                                                            |
| $\Delta H_{MN}, \Delta H_{MX}$                           | Минимальное и максимальное значения отклонения от текущего $H_z$                                         | —                                                                                                                   |
| $H_0$                                                    | Абсолютное значение вертикального положения геометрического центра ФП                                    | $H_0 = (H_1 + H_2 + H_3 + H_4)/4$                                                                                   |
| $\Delta H_0$                                             | Абсолютные значения отклонения вертикального положения геометрического центра ФП $H_0$ от текущего $H_z$ | $\Delta H_0 = H_0 - H_z$                                                                                            |
| $\Delta H_1^0, \Delta H_2^0, \Delta H_3^0, \Delta H_4^0$ | Абсолютные значения отклонения вертикального положения углов ФП от горизонтали $H_0$                     | $\Delta H_i = H_i - H_0$                                                                                            |
| $\Delta H_{MN}^0, \Delta H_{MX}^0$                       | Минимальное и максимальное значения отклонения от горизонтали                                            | —                                                                                                                   |
| $MN$                                                     | Номер угла ФП с наименьшей координатой                                                                   | —                                                                                                                   |
| $MNO$                                                    | Номер угла ФП, противоположный углу с наименьшей координатой                                             | Пары (1, 3) и (2, 4)                                                                                                |
| $MNN$                                                    | Номер угла ФП, соседнего с углом с наименьшей координатой                                                | Пары (1, 2) и (3, 4)                                                                                                |
| $MX$                                                     | Номер угла ФП с наибольшей координатой                                                                   | —                                                                                                                   |
| $MXO$                                                    | Номер угла ФП, противоположный углу с наибольшей координатой                                             | Пары (1, 3) и (2, 4)                                                                                                |
| $MXN$                                                    | Номер угла ФП, соседнего с углом с наибольшей координатой                                                | Пары (1, 2) и (3, 4)                                                                                                |
| $\Delta H_z^*$                                           | Заданная точность поддержания координат при перемещении                                                  | Задаваемый параметр                                                                                                 |
| $\Delta H_{\text{раб}}^*$                                | Предельное допустимое отклонение координат от заданных при перемещении                                   | Тоже                                                                                                                |
| $\Delta H_{\text{макс}}^*$                               | Максимальное неаварийное отклонение координат от заданных при перемещении                                | — " —                                                                                                               |



**Опускание** – процесс опускания ФП аналогичен процессу подъема и характеризуется заданным положением  $H_z < H_0$ . Если заданное положение  $H_z = 0$ , то по окончании опускания система переходит в режим покоя.

При перемещении ФП либо в процессе стабилизации положения ФП возможен выход параметров регулирования за максимальные пределы, что свидетельствует о сбое системы управления. В этом случае система переходит в СР. Модуль анализа СР может приостановить процесс подъема-опускания, запустить программу экстренного выравнивания либо аварийный дренаж или «заморозить» состояние в ожидании команд оператора.

Режимы подъема ( $dH > 0$ ) и опускания ( $dH < 0$ ). **Подъем** – переход в режим производится по команде с автоматизированного рабочего места оператора (АРМ). В процессе подъема активны алгоритмы подъема (до заданной величины  $H_z$ ) и стабилизации. Окончание процесса подъема определяется достижением координат  $H_i$  значений  $H_z \pm \Delta H_z$ . По окончании подъема система автоматически переходит в режим стабилизации. Алгоритм подъема показан на рис. 6.

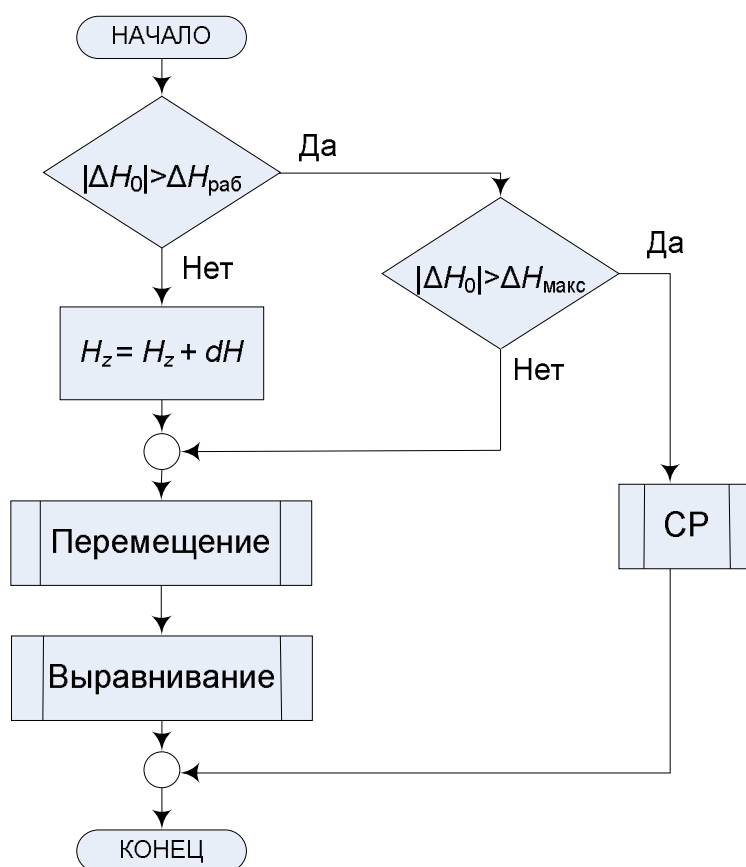


Рис. 6

Режим стабилизации. Стабилизация – режим поддержания горизонтального положения монтажной плоскости ФП с заданной точностью. Из режима стабилизации по команде с АРМ может быть произведен переход в режим подъема или режим опускания. Алгоритм стабилизации показан на рис. 7.

Алгоритм перемещения. В процессе перемещения задающим параметром является рассогласование между текущим заданным значением  $H_z$  и координатой  $H_0$ . Знак рассогласования указывает на направление перемещения, а величина определяет управляющее воздействие.

По окончании расчета параметров перемещения включается алгоритм выравнивания. В результате расчета параметров для выравнивания ФП управляющие сигналы, установленные алгоритмом перемещения могут быть изменены. Алгоритм перемещения показан на рис. 8.

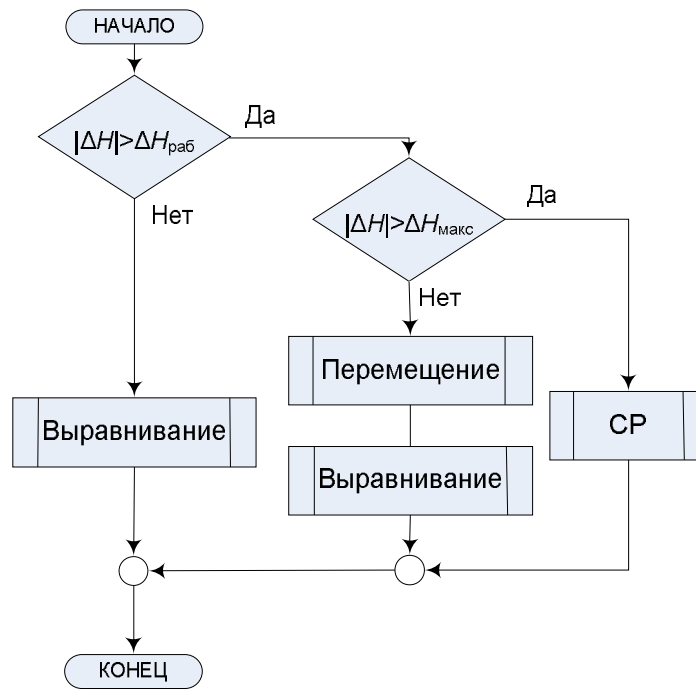


Рис. 7

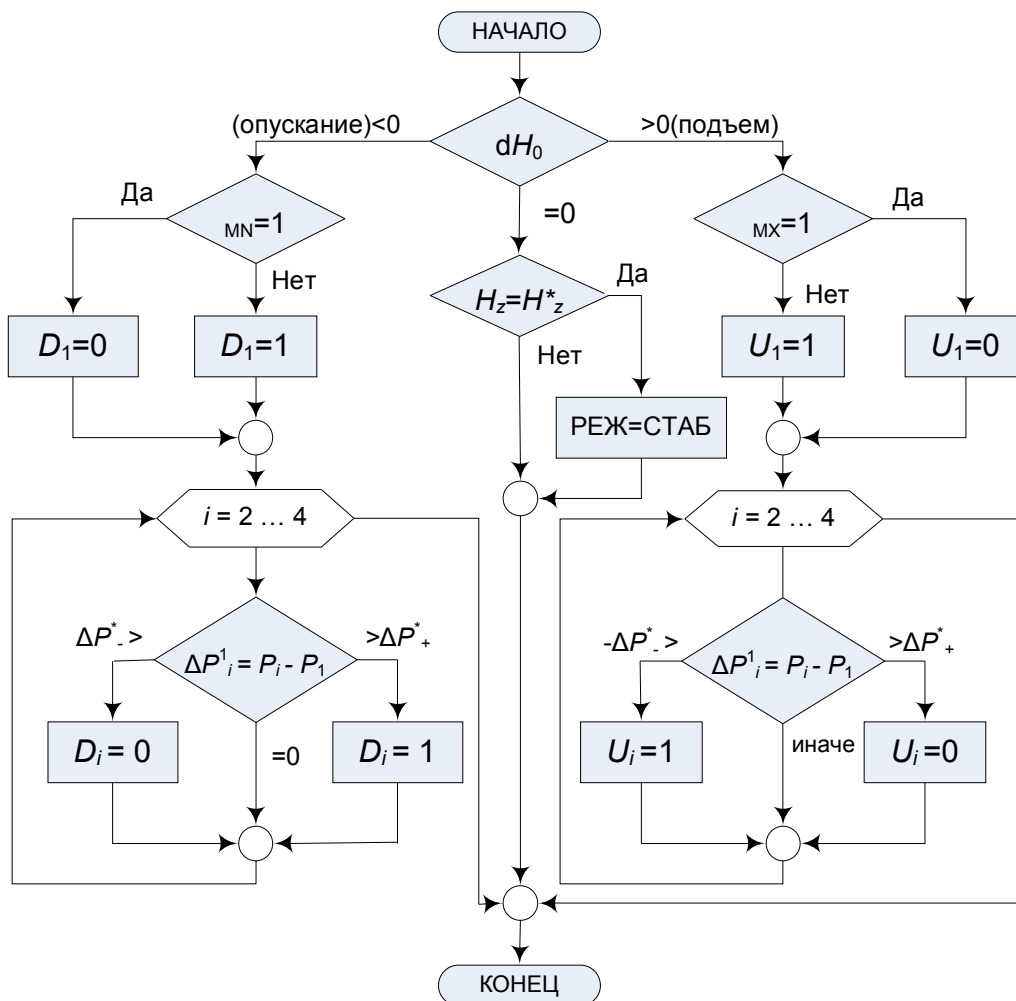


Рис. 8

Алгоритм выравнивания приведен на рис. 9

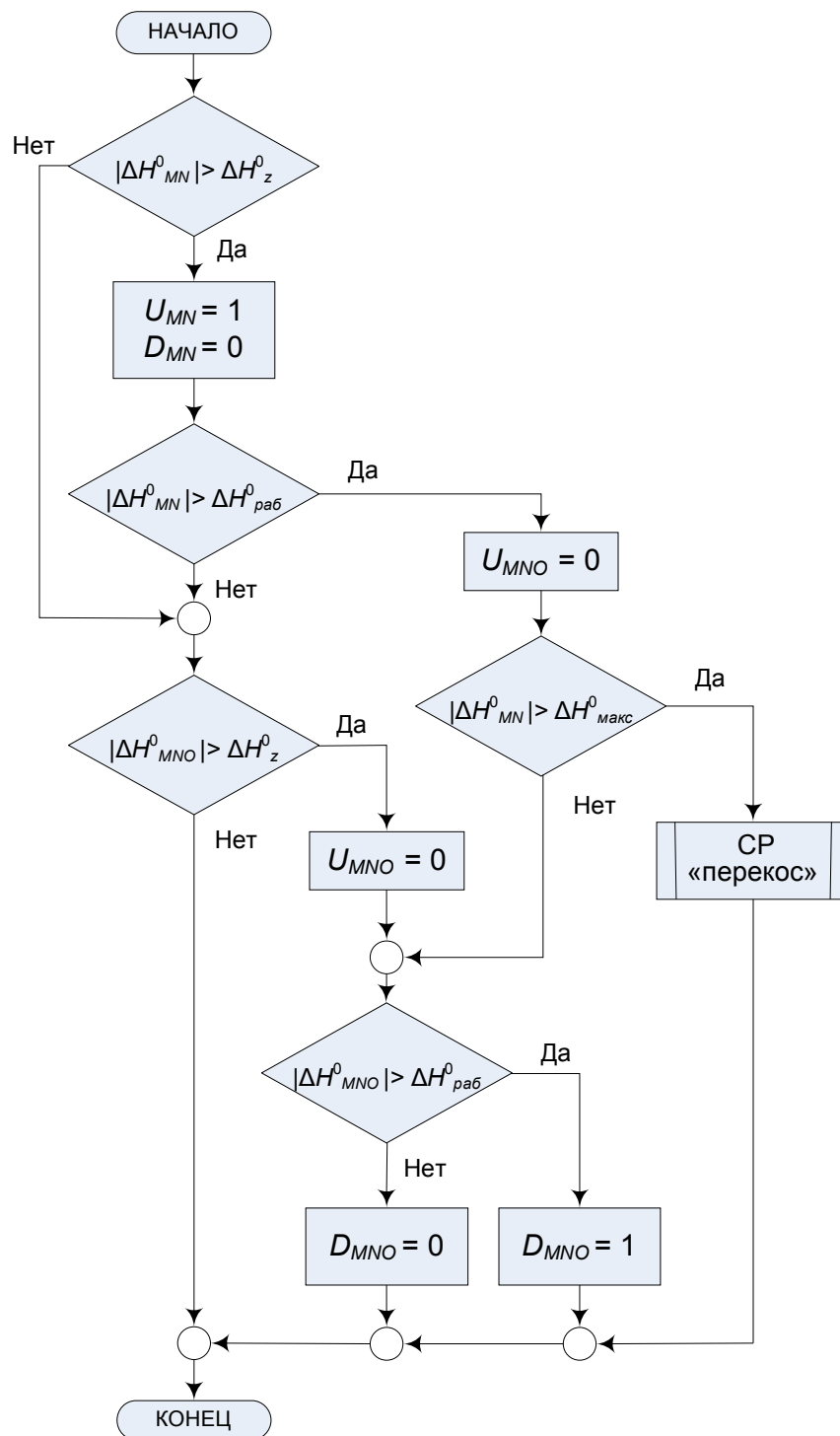


Рис. 9

**Выводы.** Использование предложенного алгоритмического обеспечения автоматизированной системы управления позволит повысить качество подъема плит на заданную высоту и обеспечит безаварийность работы.

Предложенные алгоритмы “Подъем”, “Стабилизация”, “Опускание”, “Специальный режим” управления фундаментными плитами стендов оператором в директивном режиме обеспечивают гибкие возможности по управлению скоростью подъема ФП, позволяют ускорить процесс подъема, опускания ФП, экономить используемый воздух в пневмоопорах, контролировать возникновение аварийных ситуаций.

### Список литературы

1. Синеглазов В. М. Активное управление как средство повышения ресурса воздушных судов / В. М. Синеглазов, Е. П. Решетняк, Ю. К. Зиятдинов – К.: Техніка, 1998. – 229 с.
3. Гуляев В. И. Прикладные задачи теории нелинейных колебаний механических систем / В. И. Гуляев, В. А. Баженов, С. Л. Попов – М.: Высш. шк., 1989. – 382 с.
4. Бабаков И. М. Теория колебаний. – М.: Наука, 1968. – 559 с.
5. Гробов В. А. Теория колебаний механических систем. – К.: Вища шк., 1982. – 182 с.
6. Кобаяси А. Экспериментальная механика. – М.: Мир, 1990. – 551 с.
7. Синеглазов В. М. Информационно-статистическая теория измерений / В. М. Синеглазов, А. Е. Архипов – К.: КМУГА, 1997. – 92 с.

В. М. Синеглазов, В. П. Подольский

#### **Алгоритмічне забезпечення стендових випробувань авіаційних конструкцій**

Виконано аналіз алгоритмів для реалізації автоматизованої системи керування фундаментними плитами вібростендів для їх підняття на задану висоту, утримання у разі вібраційних випробувань і опускання на упори. Показано, що процес піднімання фундаментних плит являє собою динамічний процес, від якості якого залежать подальші вібраційні випробування.

V. M. Sineglazov, V. P. Podolskyi

#### **Algorithmic support testing of aircraft structures**

The analysis of algorithms for the implementation of ACS TP automated control base plate shakers when they rise at a given height, hold for vibration testing and lowering at the stops. It is shown that the process of recovery of the foundation board is a dynamic process, which depends on the quality of future vibration tests.