УДК 629.735.07

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТА ПЕРЕКОСА И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**П.Н. РЫБКИН**

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Соловьевым Б.А.**

Изложен принцип моделирования автомата перекоса в рамках математической модели лётного тренажёра вертолёта Ми-8МТВ. Рассмотрены все режимы работы автомата перекоса. Приведена блок-схема фрагмента математической модели автомата перекоса, имитирующего работу канала поперечного управления.

**Ключевые слова:** автомат перекоса, математическое моделирование, лётный тренажёр вертолёта.

Назначение ММ автомата перекоса - расчёт на очередном временном шаге изменений общего шага НВ и наклона тарелки в продольном и поперечном направлениях [2, 3].

Исходными данными для расчёта являются значения необходимых параметров, полученные на предыдущем временном шаге, и изменения положений ручки циклического шага и рукоятки общего шага НВ за рассчитываемый временной отрезок.

Полученные значения являются исходными данными для аэродинамического расчёта несущего винта. Исходным для построения ММ систем управления и автомата перекоса являлись схемы реальных систем управления (рис. 1).

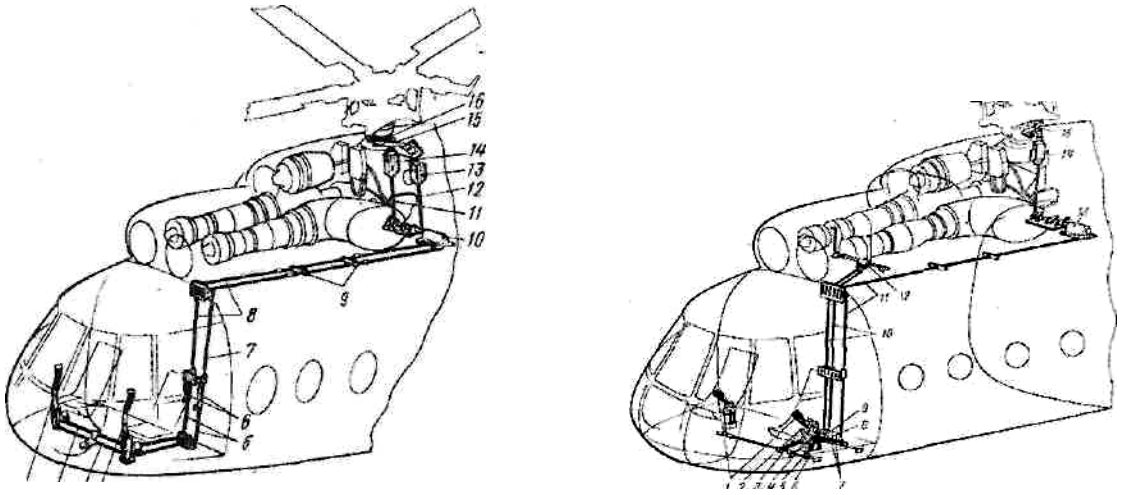


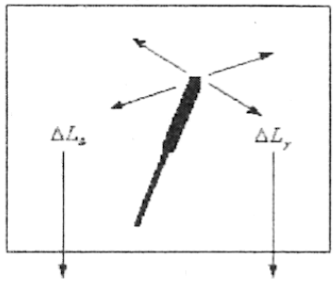

**Рис. 1.** Схема продольно-поперечного и объединённого управления

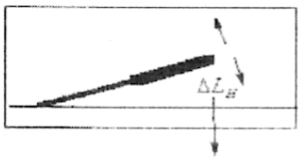
ММ автомата перекоса состоит из 3-х автономных ветвей: общего шага, продольного управления и поперечного управления. Каждая из ветвей, не зависимо друг от друга, может "работать" в двух режимах: в "*Режиме ручного управления*" и в так называемом, комбинированном режиме, когда автопилотом стабилизируется параметр полёта (высота, крен, тангаж), но пилот в любой момент может взять управление на себя и отключить автопилот.

В дальнейшем комбинированный режим будем именовать "*Режимом стабилизации (высоты, крена, тангажа)*". Структура математической модели автомата перекоса показана на рис. 2.

"*Режим ручного управления*" возможен при работе любой гидросистемы: основной или дублирующей.

"*Режим стабилизации*" возможен только при работе основной гидросистемы.




| Ветвь продольного управления | Ветвь поперечного управления | Ветвь управления по высоте |
|---|---|---|
| $\Delta L_S$ изменение положения ручки циклического шага в продольном направлении | $\Delta L_y$ изменение положения ручки циклического шага в поперечном направлении | $\Delta L_H$ изменение положения рычага ШАГ-ГАЗ |
| ММ продольного управления | ММ поперечного управления | ММ управления по высоте |
| $\chi$-угол наклона тарелки в продольном направлении | $\theta$ -угол наклона тарелки в поперечном направлении | $\varphi_0$ - общий шаг несущего винта |
| Азимутальный шаг лопасти несущего винта $\varphi = f(\chi, \eta, \varphi_0, \theta)$ | | |

**Рис. 2.** Общая структура ММ автомата перекоса

При отказе обеих гидросистем все три ветви ММ переходят в "*Режим жёсткой тяги*", когда изменение общего шага НВ и наклон тарелки автомата перекоса осуществляется мускульной силой пилота. Для имитации "*Режима жёсткой тяги*" на тренажёре помимо штатного пружинного загрузочного механизма должно быть установлено специальное устройство, имитирующее нагрузку на органы управления, воспринимаемую гидроусилителями.

В каждой ветви ММ рассчитывается только один параметр: в ветви общего шага - изменение угла установки всех лопастей $\Delta\varphi$, в ветви продольного управления – изменение угла наклона тарелки в продольной плоскости $\Delta\chi$, в ветви поперечного управления – изменение угла наклона тарелки в поперечной плоскости $\Delta\eta$.

Хотя в каждой ветви рассчитываются разные параметры, принципиальная структура ветвей одинакова. Поэтому достаточно рассмотреть структуру одной ветви, например, ветви поперечного управления (рис. 3).

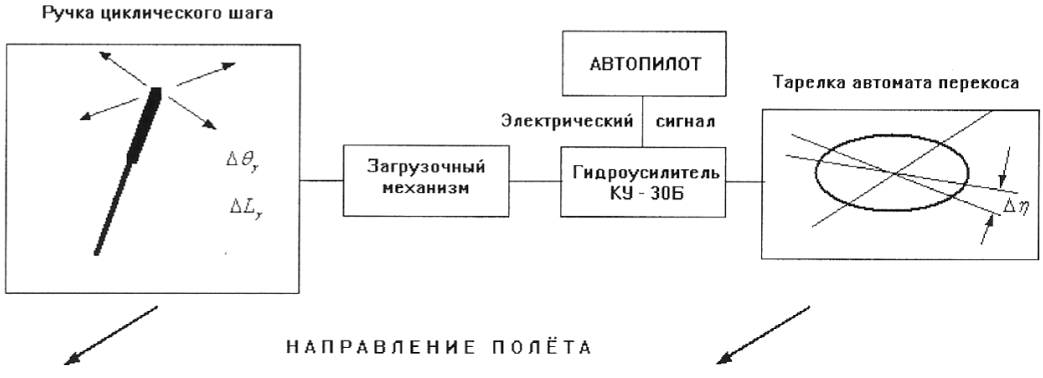



**Рис. 3.** Структурная схема ветви ММ - поперечное управление

На тренажёре устанавливается штатный загрузочный механизм. Поэтому имитировать силы, действующие на ручку циклического шага, и процесс снятия с ручки циклического шага нагрузки не требуется.

Передаточный коэффициент $A_\gamma$ определяется делением изменения угла наклона тарелки при перемещении ручки циклического шага из одного крайнего положения в другое на величину перемещения ручки циклического шага при этом. Для вертолёта Ми-8 $A_\gamma$ = 0,026 7 /мм.

Гидроусилитель является не только передаточным, но и демпфирующим звеном. Максимальная скорость перемещения штока силового цилиндра определяется проходными сечениями каналов и проточек управляющей головки гидроусилителя. Эта скорость определяет, в свою очередь, максимальную скорость перемещения пилотом ручки циклического шага $(dL_\gamma / dt)_{\max}$ и максимальную скорость изменения угла наклона тарелки автомата перекоса $(d\eta / dt)_{\max}$.

Для вертолета Ми-8 $(d\eta / dt)_{\max}$ = 6,94 /с и $(dL_\gamma / dt)_{\max}$ = 267 мм/с.

Математическая модель поперечного управления начинается с установления режима работы ветви (рис. 4).




**Рис. 4.** Фрагмент ММ: определение режима работы

**Режим "*Ручного управления*".** В этом режиме изменение угла наклона тарелки в поперечной плоскости осуществляет пилот, перемещая ручку циклического шага в поперечном направлении в нужное положение. Цепочка, по которой передаётся перемещение ручки циклического шага и преобразуется в угол наклона тарелки в поперечной плоскости, показана на рис. 5.




**Рис. 5.** Структурная схема ветви ММ - поперечное управление в режиме "*Ручного управления*"

Зависимость изменения угла наклона тарелки в поперечной плоскости $\Delta\eta$ за период временного шага $\Delta t$ от изменения отклонения ручки циклического шага в поперечном направлении $\Delta L_\gamma$ линейна

$$\Delta\eta = A_\gamma \Delta L_\gamma .$$

**Режим *"Стабилизации курса".*** В этом режиме поперечное управление вертолётом осуществляется автопилотом. Для перевода поперечного управления в этот режим пилот устанавливает в необходимое положение ручку циклического шага, снимает усилие с пружины загрузочного механизма, и включает канал автопилота - стабилизация крена. В процессе стабилизации ручка циклического шага остаётся неподвижной. Управление гидроусилителем осуществляется электрическими сигналами автопилота. Однако пилот в любой момент может взять управление «на себя» и отключить автопилот.

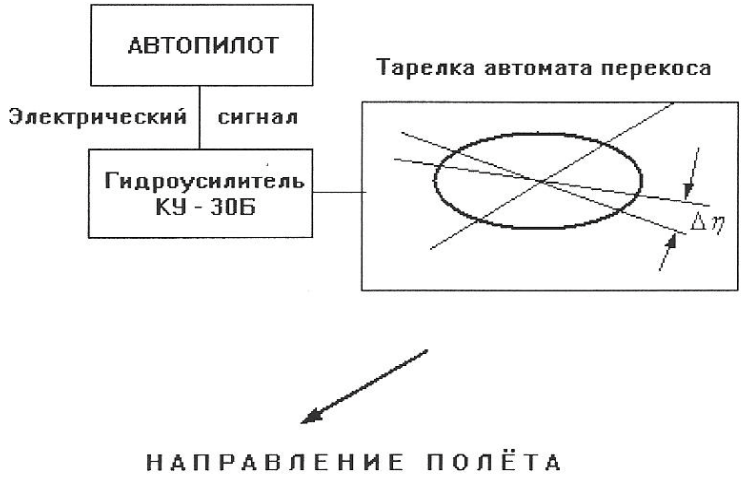



**Рис. 6.** Структурная схема ветви ММ – поперечное управление в режиме *"Стабилизации курса"*

При отклонении угла крена от заданного в автопилоте вырабатывается электрический сигнал, пропорциональный величине отклонения угла крена и величине угловой скорости вертолёта относительно оси X. Гидроусилитель, реагируя на поступивший сигнал, начнёт передвигать шток силового цилиндра на наклон тарелки автопилота, поворачивая вертолёт в сторону, противоположную возникшему отклонению. При этом направление и скорость перемещения штока силового цилиндра и, следовательно, изменения угла наклона тарелки, пропорциональна знаку и величине поступающего от автопилота сигнала.

При стабилизации крена на перемещение штока ершового цилиндра и, следовательно, на изменение угла наклона тарелки накладываются два ограничения.

1. Максимальная скорость изменения угла наклона тарелки ограничивается возможностями силового цилиндра. В пределах этого ограничения скорость изменения угла наклона тарелки автомата перекоса пропорциональна величине сигнала автопилота.
2. Наложены ограничения на максимальный и минимальный углы наклона тарелки в пределах 17% максимальных отклонений при ручном управлении.

Укрупнённая структурная блок-схема фрагмента ветви математической модели "поперечное управление", соответствующего режиму "Стабилизация крена", приведена на рис. 7.

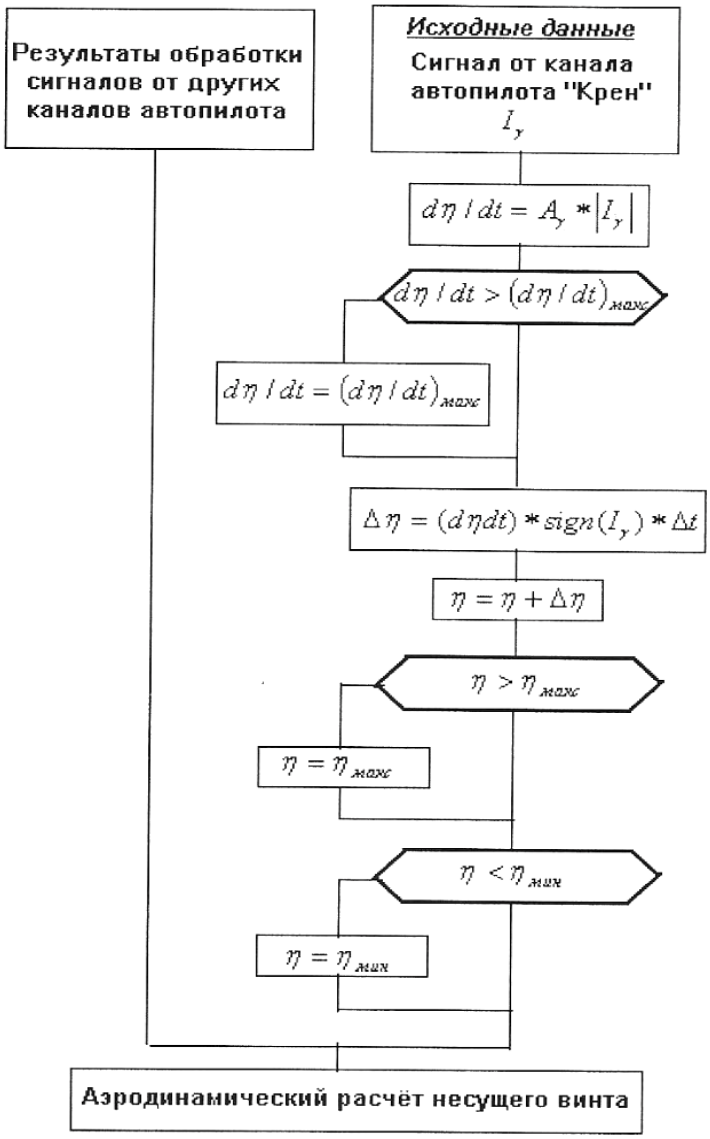



**Рис. 7.** Фрагмент ветви ММ "Стабилизация крена"

**Режим *"Жёсткая тяга".*** Этот режим реализуется, когда отказывают обе гидросистемы: основная и дублирующая. Силовой цилиндр заклинивается, и изменение угла наклона тарелки автомата перекоса производится мускульной силой пилота. На режиме *"Жёсткая тяга"* осуществляется линейная зависимость между перемещением ручки циклического шага и изменением угла наклона тарелки автомата перекоса $d\eta/dL_\gamma = const.$

Следует заметить, что реализация режима *"Жёсткая тяга"* на тренажёре возможна, если помимо стандартного пружинного загрузочного механизма будет специальное загрузочное устройство, имитирующее силовое воздействие автомата перекоса на ручку циклического шага.

**ЛИТЕРАТУРА**

**1. Богданов А.Д., Калинин Н.П., Кривко А.И.** Турбовальный двигатель ТВ3-117ВМ. Конструкция и техническая эксплуатация. - М: Воздушный транспорт, 2000.

**2. Данилов А.Д.** Вертолёт Ми-8МТВ. Конструкция и техническая эксплуатация. - М: Транспорт, 1998.

**3.** Руководство по лётной эксплуатации вертолёта Ми-8МТВ (с дополнениями и изменениями). Введено в действие отделом лётной эксплуатации Департамента воздушного транспорта РФ, 14 мая 1994 г.

## MATHEMATICAL MODEL OF SWASHPLATE AND CONTROLS

**Rybkin P.N.**

The article explains the principal of swash plate modeling within the frames of MI-8MTV simulator mathematical model. It covers all the operational modes of the swash plate. The article shows the flow chart of the swash plate mathematical model, simulating the lateral control channel operation.

**Key words:** swash plate, mathematical modeling, helicopter flight simulator.

### Сведения об авторе

**Рыбкин Павел Николаевич,** 1962 г.р., окончил МАИ (1985), кандидат технических наук, доцент МАИ, автор 30 научных работ, область научных интересов – поддержание летной годности воздушных судов, современные образовательные технологии.