

Устойчивость в смысле предсказуемости поведения

Объективной основой управления является субъективная способность управленца предвидеть поведение объекта управления под воздействием: внешней среды, собственных изменений объекта, управления. Это приводит к понятию:

Устойчивость в смысле *предсказуемости поведения объекта (процесса) в определённой мере* под воздействием: внешней среды, собственных изменений объекта (процесса), управления.

Как объективное явление — это свойство объекта управления (реального или потенциального) *в восприятии субъектом-управленцем (или претендентом в управленцы) самого объекта и его взаимоотношений со средой.*

Т.е. в явлении «устойчивость в смысле предсказуемости» сливаются воедино и объективность бытия объекта управления (либо объективная возможность осуществления проекта), и субъективизм его восприятия конкретным индивидом. Как понятие это — ключевое понятие теории и практики управления.

Однако прежде, чем обсуждать эту специфическую разновидность устойчивости, необходимо рассмотреть сложившееся понимание устойчивости как объективного явления. В большинстве случаев в науке устойчивость определяется как способность объекта (процесса), на который оказывается возмущающее воздействие, выводящее его из некоего режима, в котором контрольные параметры объекта (процесса) неизменны, — *после снятия этого воздействия* — возвращаться к тому режиму, в котором он пребывал до оказания на него возмущающего воздействия. Устойчивость в таком понимании может охватывать полный перечень контрольных параметров, которыми характеризуется поведение объекта, но может охватывать только некоторую выборку из полного перечня. Это определение распространяется практически на все явления безотносительно к природе самих явлений.

Данному определению явления устойчивости сопутствует понятие «запас устойчивости». Оно основывается на том, что при превышении возмущающим воздействием некоторой величины, объект, устойчивый в указанном смысле при меньших значениях возмущающего воздействия, может утрачивать это свойство. Но запас устойчивости в каждом конкретном случае выражается своеобразно, и в каждом конкретном случае параметр, определяемый термином «запас устойчивости», должен быть метрологически состоятельным.

Примеры:

- Устойчивость — неустойчивость:
 - Сложенный из листа бумаги самолёт-стрела — аэродинамически устойчив (т.е. сам возвращается к углам своей ориентации относительно вектора скорости набегающего потока воздуха), благодаря чему летит, в общем-то, по предсказуемой гладкой траектории: при некоторой сноровке им можно попасть в заранее намеченное место.
 - Листья деревьев имеют иную форму и, опадая осенью с ветвей, иначе обтекаются потоком воздуха, летят по криволинейной ломано-прерывистой траектории и падают в непредсказуемое место (это хорошо видно в безветренное время).
- Запас устойчивости:
 - Бумажный самолёт-стрела, если его просто уронить, — вне зависимости от своей ориентации по отношению к вертикали — под воздействием возникающих на его поверхности аэродинамических сил прекращает падение, подобное падению листа, и начинает планировать — главное, чтобы хватило начальной высоты. Т.е. он аэродинамически устойчив во всём диапазоне возможных

отклонений от режима устойчивого планирования, и, с оговоркой о начальном запасе высоты, его запас аэродинамической устойчивости неограничен.

В отличие от бумажного самолётика-стрелы, история авиации знает примеры реальных самолётов, аэродинамические компоновки которых оказывались таковы, что, если в полёте угол атаки¹ (или крена) превысит некоторое критическое значение, то самолёт начнёт падать почти так, как падает осенний лист (это явление называется в авиации «плоский штопор»²).

Критический угол атаки, по превышении которого самолёт сваливается в плоский штопор либо в пикирование, для выхода из которых требуется управление³, — одна из возможных мер запаса устойчивости режима нормального полёта.

- При опрокидывании предмета, стоящего на твёрдой поверхности (например, табуретки), он теряет устойчивость, когда момент сил (тяжести и равнодействующей реакций опоры) изменяет свой знак, после чего момент названных сил начинает способствовать дальнейшему опрокидыванию предмета даже в случае исчезновения накренившей предмет силы. Одна из возможных мер запаса устойчивости в этом случае — механическая работа, которую необходимо совершить для того, чтобы привести предмет в положение, в котором момент сил тяжести и равнодействующей реакций опоры изменяет свой знак.

Однако в теории и практике управления применимость приведённого выше определения устойчивости носит ограниченный характер. Дело в том, что в жизни встречаются объекты и процессы, которые сами по себе свойством устойчивости не обладают (т.е. обладают нулевым запасом устойчивости); либо их запас устойчивости настолько близок к нулю, что в практических задачах его можно считать нулевым, а сами объекты (процессы) — неустойчивыми, но при этом:

Организация *соответствующего* управления может придать устойчивость течению процессов, которые без управления (или при несоответствующем управлении) оказываются неустойчивыми.

Наиболее широко известным примером такого рода организации *соответствующего* управления, придающего устойчивость заведомо неустойчивому процессу, является вся история конструирования и строительства вертолётной одновинтовой схемы⁴. Хотя

¹ Если не вдаваться в рассмотрение профиля крыла, его характеристических точек и линий, то угол атаки это — угол в продольной плоскости симметрии самолёта между проекцией на неё вектора скорости набегающего потока и следом на ней «плоскости» крыла; либо ещё примитивнее — угол наклона «плоскости» крыла по отношению к вектору скорости набегающего потока.

² Причём из режима падения в плоском штопоре далеко не всякий самолёт способен выйти за счёт средств нормального управления. Для того, чтобы такой самолёт можно было вывести из плоского штопора, на нём необходимо устанавливать специальные устройства — например специальные парашюты, которые подтормаживая хвост, переводят самолёт из плоского штопора в режим пикирования, в котором восстанавливается нормальная управляемость самолёта, после чего противштопорный парашют сбрасывается.

Сваливание в плоский штопор вследствие ошибок пилотирования — причина гибели нескольких авиалайнеров Ту-154 со всеми находившимися на их борту (последний случай — гибель рейса «Пулковских авиалиний» 22 августа 2006 г. под Донецком). Эта особенность Ту-154 была известна ещё на стадии проектирования, по какой причине опытные экземпляры, проходившие испытания, были снабжены противштопорными парашютами. Однако с целью увеличения весовой отдачи и экономичности лайнера их не стали устанавливать на серийные самолёты, предполагая, что квалифицированные лётчики не будут допускать полётов на углах атаки, близких к критическим.

³ Если управление не требуется, то реальный самолёт по своим аэродинамическим характеристикам аналогичен бумажному самолётику-стреле. Так советский истребитель Як-3 (времен Великой Отечественной войны), если срывался в пикирование из-за превышения критического угла атаки, набрав в пикировании скорость, сам выходил из него.

⁴ Вертолёт одновинтовой схемы имеет:

- один несущий винт, который вращается вокруг вертикальной оси, — он создаёт подъёмную силу и силу тяги в направлении полёта;

практически все видели такие вертолёты хотя бы в кино, но большинство не задумывается и не знает, что обеспечивает возможность полёта такого вертолёта.

Дело в том, что, если вращающийся винт перемещается в направлении, перпендикулярном оси своего вращения, то воздушный поток по разные стороны от оси вращения с разными скоростями набегаёт на лопасти винта. Вследствие этого на лопастях винта (если углы атаки лопастей одинаковые) возникают разные по величине аэродинамические силы, которые порождают кренящий момент. По этой причине вертолёт с таким несущим винтом во время полёта обречён завалиться на один из бортов и после этого, потеряв подъёмную силу, «упасть камнем»; практически же он вообще оказался бы не способен взлететь. В терминах теории управления это означает, что желательный режим функционирования объекта управления объективно неустойчив.

Для того чтобы вертолёт одновинтовой схемы мог летать, требуется обнулить кренящий момент. Наиболее эффективный способ достичь этого — изменять угол атаки лопастей несущего винта в процессе его вращения так, чтобы лопасть, перемещающаяся в направлении полёта, имела меньший угол атаки, нежели лопасть, перемещающаяся в направлении, обратном направлению полёта: в этом случае там, где скорость набегающего на лопасть потока выше, — угол атаки лопасти меньше и возникает подъёмная сила меньшей величины; а там, где скорость набегающего на лопасть потока ниже, — угол атаки лопасти больше и возникает подъёмная сила большей величины; вследствие этого при определённом соотношении углов атаки при прохождении лопастями несущего винта разных секторов ометаемого ими круга — можно управлять величиной кренящего момента и направлением его действия (последнее позволяет вертолёту лететь вперёд или боком, зависать на месте и т.п.).



Задача управления углами атаки лопастей при вращении несущего винта вертолёта была решена инженером Борисом Николаевичем Юрьевым (1889 — 1957). В 1911 г. он опубликовал статью, в которой описал схему одновинтового вертолёта с рулевым винтом и автоматом перекоса лопастей несущего винта. Изобретение им «автомата перекоса» — устройства, обеспечивающего управление изменением угла атаки лопастей несущего винта при его вращении, (на схеме вверху) — открыло пути к тому, что вертолёт одновинтовой схемы с управляющим винтом на хвостовой балке стал реальностью. И ныне именно эта схема вертолёта

получила наиболее широкое распространение благодаря своей простоте, надёжности и превосходству по весовой отдаче⁵ в сопоставлении её с другими схемами.

Есть и другие примеры, когда организация *соответствующего* управления придаёт устойчивость процессу, объективно неустойчивому в отсутствии управления или неустойчивому при несоответствующем управлении.

Приведённый пример показывает, что явление «устойчивость» в традиционном понимании этого термина — частный случай более общего явления: **устойчивости в смысле предсказуемости поведения объекта в определённой мере под воздействием внешней среды, собственных изменений объекта, управления**, — поскольку в основе

-
- один рулевой винт, расположенный на хвостовой балке, который вращается вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной оси вращения несущего винта, — он предназначен для компенсации реактивного момента от вращения несущего винта и тем самым — для предотвращения вращения фюзеляжа вертолёта в направлении, противоположном направлению вращения несущего винта, а также — для изменения ориентации вертолёта по курсу.

⁵ Весовая отдача — отношение массы полезной нагрузки к полной массе летательного аппарата (термин унаследован от времён ранее введения в действие системы единиц СИ, когда весовые единицы были более употребительны или считались эквивалентными единицам измерения массы).

организации такого рода *соответствующего* управления неустойчивыми процессами (объектами) лежит именно решение задачи о предсказуемости поведения объекта в указанном смысле.

Этот термин, определяющий явление «устойчивость в смысле предсказуемости...», многословен, однако в нём нет «лишних слов».

Примеры к пониманию разных аспектов этого явления во множестве даёт авиация:

- Так посадка самолёта на аэродром с полосой длиной 2 километра и шириной 100 метров в безветрие при ясной видимости — это одни требования к квалификации лётчика; а посадка того же самолёта при сильном боковом порывистом ветре, на тот же аэродром ночью в ливень или в снегопад — требования к квалификации лётчика совсем иного порядка.

Это пример субъективной обусловленности явления устойчивости по предсказуемости квалификацией лётчиков.

Но он же — пример обусловленности явления устойчивости по предсказуемости самим объектом, поскольку разные типы самолётов по-разному чувствительны к погодным условиям при выполнении взлёта и посадки и обладают разными характеристиками управляемости, по какой причине каждый тип самолёта требует переподготовки в общем-то квалифицированных лётчиков.

- Полёты на рекордную дальность в 1920 — 1930е гг. — пример обусловленности устойчивости по предсказуемости внешней средой. Их результаты во многом были обусловлены погодой, поскольку, если ветер попутный, то экономия топлива — можно улететь дальше. Но если вместо ожидаемых по прогнозу благоприятных для установления рекорда погодных условий возникает встречный шторм (а скорость ветра в нём того же порядка, что и скорости самолётов тех лет) и плюс к нему обледенение, то повышенный расход топлива неизбежен, — может не состояться не только рекорд, но возможно, что придётся сажать самолёт «на брюхо» в поле, на лес или в море.

Однако если полёт — обычный полёт в системе функционирования воздушного транспорта, то точность всевозможных прогнозов погоды может быть существенно ниже, поскольку дальность перелёта задаётся гарантированно в пределах запаса топлива с учётом возможностей повышенного расхода топлива при встречном ветре, необходимости ухода на запасной аэродром, ожидания в воздухе очереди на посадку и т.п.

Но это — пример не только обусловленности устойчивости по предсказуемости внешней средой, но и обусловленности *определённой меры точности прогноза* самой задачей: полёт на рекордную дальность либо обычный полёт в пределах развитой аэродромной сети требуют разной точности прогнозов погоды.

- Самолёт управляем на основе того, что его поведение предсказуемо для лётчика. Зимой 1941 г. в период битвы за Москву стояли очень сильные морозы. В это время имела место серия катастроф советских бомбардировщиков СБ. Все эти катастрофы произошли по одному сценарию: самолёты с *полной бомбовой нагрузкой (безопасность подъёма которой была установлена и на испытаниях, и в ходе эксплуатации на протяжении 7 лет)* рано утром уходили на старт, разбежались, отрывались от земли и, набрав не более 50 метров высоты, падали камнем. Спустя несколько часов, днём такие же самолёты с аналогичной бомбовой нагрузкой благополучно взлетали и уходили на задания точно так же, как и самолёты, вылетавшие утром, но с других аэродромов.

Анализ обстоятельств катастроф показал, что все погибшие самолёты базировались на полевые аэродромы и в период ночного понижения температуры покрывались так называемым *игольчатым инеем* (в нём кристаллики льда стоят перпендикулярно поверхности, на которой выпал иней). Перед вылетами иней с самолётов никто не счищал...

После выяснения этого обстоятельства в Центральном аэрогидродинамическом институте были проведены продувки в аэродинамических трубах, которые показали, что иголочки инея настолько ухудшали аэродинамическое качество⁶ самолёта, что по выходе из зоны, в которой влияния поверхности земли увеличивало подъёмную силу⁷, подъёмная сила резко уменьшалась и оказывалась недостаточной для того, чтобы самолёт мог держаться в воздухе.

Это — пример потери устойчивости по предсказуемости поведения самим объектом управления, хотя и вызванной последствиями воздействия на него внешней среды.

Практика — критерий истины, и в данном случае:

Объекты (процессы) управляемы только в том диапазоне параметров, характеризующих объективность объекта и среды и субъективизм управленца, в котором объекты (процессы) устойчивы *в определённой мере* по предсказуемости своего поведения под воздействием: внешней среды, собственных изменений, управления.

Управляемость — свойство объекта управления (замкнутой системы), его способность быть управляемым. В практике управления управляемость характеризуется показателями реакции объекта (замкнутой системы) на возмущающие воздействия среды, на внутренние изменения, на управление. Понятно, что все показатели должны быть метрологически состоятельны, а перечень характеристик управляемости — всегда конкретика.

В основе управляемости лежит решение задачи о *предсказуемости поведения объекта (процесса) в определённой мере* под воздействием: внешней среды, собственных изменений объекта (процесса), управления. Это касается как природных, так и искусственных объектов (процессов).

После того, как дано представление об устойчивости в смысле предсказуемости поведения объекта, можно дать ещё одно определение полной функции управления:

Полная функция управления представляет собой решение задачи об устойчивости в смысле предсказуемости поведение объекта под воздействием внешней среды, внутренних изменений и управления, осуществляемое сначала в психике субъекта-управленца, а потом — практически.

⁶ Аэродинамическое качество — отношение подъёмной силы к силе аэродинамического сопротивления движению в направлении полёта.

⁷ Так называемый «экранный эффект» представляет собой — увеличение аэродинамического качества при движении крыла (или иной аэродинамической компоновки) вблизи поверхности по отношению к значению аэродинамического качества того же крыла при его движении вдали от поверхности. Для движения в режиме действия «экранный эффект» предназначены экранопланы.