

Славянов Андрей Станиславович,
профессор, д-р экон. наук, доцент

УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ

Россия, Москва, Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана, aslavianov@mail.ru

Аннотация. В условиях давления на российскую экономику особую актуальность приобретает устойчивость производственной системы к внешним ограничениям на поставку материальных ресурсов и информации. В работе проведен анализ определений устойчивости системы, выявлены основные угрозы ее стабильности, в число которых входят ограничения на поставку информационных и материальных ресурсов. Предложена имитационная модель технологического процесса, на базе которой определены мероприятия, необходимые провести для снижения последствий реализации угроз и повышения устойчивости системы.

Ключевые слова: производственные системы, технологическая безопасность, устойчивость системы, критическая инфраструктура производственной системы, модель технологического процесса, логистические ограничения.

Andrey S. Slavyanov,
Professor, Doctor of Economics

SUSTAINABILITY OF PRODUCTION SYSTEMS IN CONDITIONS OF INSTABILITY

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia,
aslavianov@mail.ru

Abstract. In the context of pressure on the Russian economy, the stability of the production system to external restrictions on the supply of material resources and information is of particular relevance. The work analyzes the definitions of system stability and identifies the main threats to its stability, which include restrictions on the supply of information and material resources. A simulation model of the technological process is proposed, on the basis of which the measures necessary to carry out to reduce the consequences of threats and increase the stability of the system are determined.

Keywords: production systems, technological safety, system stability, critical infrastructure of the production system, technological process model, logistics restrictions.

Введение

В настоящее время Россия находится под серьезным давлением со стороны ряда индустриально развитых государств, которые ввели

ограничения различного характера в отношении ряда предприятий и финансовой системы страны. Можно отметить, что отечественная экономика в целом, благодаря предпринятым Центральным Банком и Правительством России своевременным мерам, успешно выдержала это давление, тем самым показала устойчивость финансово-экономической системы к внешним воздействиям. Вместе с тем значительное число предприятий, использующих в производственном процессе импортные комплектующие и материалы, сократили выпуск продукции или вовсе остановились. Особенно пострадала автомобильная отрасль, где выпуск продукции, вследствие прекращения зарубежных поставок комплектующих, сократился в 2022 г. более, чем на половину. Если финансовая система смогла, после скачка валютных курсов, вернуться к своему нормальному состоянию, то для ряда предприятий высокотехнологичного сектора экономики потребовалось более двух лет для того, чтобы восстановить докризисные (2021 г.) объемы производства. Причем восстановление произошло за счет замены одних импортных комплектующих изделий и материалов аналогами из дружественных на данный момент стран, а это дает основание полагать, что отечественная производственная система оказалась более чувствительной к санкционному давлению, чем финансовая, которая быстро перестроилась на работу с национальными валютами дружественных стран. В текущий момент времени нет оснований рассчитывать, что санкционное давление на отечественную экономику в ближайшее время стабилизируется или ослабеет. Скорее всего внешние ограничения затронут и компании из стран, которые в настоящий момент замещают в России импорт из недружественных государств, что может существенно осложнить ситуацию. Это обстоятельство и определяет актуальность проблемы повышения устойчивости производственных систем к внешнему воздействию.

Цель исследования – выявление факторов устойчивости производственной системы к внешнему воздействию, достигается методами исследования сложных систем, а именно математического имитационного моделирования и системного анализа. В работе используется системный подход к изучению слабо формализованных объектов.

Объектом данного исследования является промышленное предприятие, основу которого составляет производственная система, представляющая собой совокупность множества элементов и подсистем, функционирующих в целях изготовления и выпуска промышленной продукции или других видов материальных благ [6].

Предметом данного исследования являются процессы, влияющие на устойчивость предприятия к воздействию внешних и внутренних негативных факторов.

1. Постановка задачи

1.1. Описание предметной области

В зависимости от области знаний формулировки определения устойчивости изучаемого объекта могут различаться. В теории управления сложными системами под устойчивостью понимается способность объекта сохранять свою работоспособность или восстановить исходное состояние после устранения воздействующего на него фактора. В биологии под устойчивостью понимается способность биосистемы противостоять внешним изменениям среды. В экономической науке в определение устойчивости предприятия связывают с его способностью выполнять свои контрактные обязательства, сохранять рыночную долю и получать норму прибыли.

Понятие устойчивости можно применить практически ко всем объектам и системам, причем общим для всех формулировок можно считать способность:

- противостоять неблагоприятным факторам внешней среды;
- сохранять основные функции и параметры;
- восстанавливать первоначальные параметры и свойства после прекращения воздействия внешних неблагоприятных факторов [7].

В производственной системе реализуется технологический процесс, преобразовывающий, посредством специальных технических устройств, ресурсы в полезные продукты или услуги [3, 4]. Предприятие, находящееся в равновесии, стабильно функционирует, выпускает пользующуюся спросом продукцию и располагает при этом всеми необходимыми ресурсами.

1.2. Определение проблемы

Система может находиться в состоянии устойчивого и неустойчивого равновесия. В случае устойчивого равновесия показатели системы возвращаются в исходное состояние после устранения воздействия внешних факторов. Если давление будет достаточно энергичным, то система может выйти из равновесия и занять новое положение. Факторы могут быть как способствующими развитию системы (положительными), так и отрицательными – сдерживающими ее развитие или разрушающими. К факторам, стимулирующим развитие производственной системы, относятся инвестиции в основной капитал, которые направлены на внедрение новых технологий, обновление парка основного технологического оборудования, внедрение информационных систем управления производством, расширение и поглощение смежных предприятий и т. п. Для выхода предприятия на новый уровень внедрение базовых инноваций, которые подразумевают выпуск продукции нового поколения или ресурсосберегающих технологий, позволяющих кратно снижать ресурсопотребление, потребуются значительные капитальные вложения в основное производство и инфраструктуру.

Замедление развития может быть вызвано различного рода ограничениями и логистическими сбоями в поставках необходимых материальных

ресурсов и информации как внутри системы, так и во внешней среде. Если финансовые санкции, которые затрудняют расчеты между контрагентами, можно обойти посредством различных схем, в которых используются валюты дружественных государств, бартер и т. п., то логистические и информационные ограничения могут не только затормозить развитие, но и разрушить всю производственную систему. Информационные ограничения проявляются в прекращении лицензий на программное обеспечение, которое установлено на технологическом оборудовании и в системах управления производством. Ограничения в поставках ресурсов – материалов, комплектующих изделий, запасных частей для ремонта оборудования и инструмента, согласно опросам экспертов, оказывают самое серьезное отрицательное влияние на протекание технологического процесса и, соответственно, на устойчивость производственной системы (см. табл. 1).

Таблица 1

Угрозы устойчивости производственной системе и оценка последствий их реализации

№ п/п	Угрозы устойчивости системе	Мероприятия по поддержанию устойчивости	Последствия	Оценка, баллы
1	2	3	4	5
1	Ограничения в финансовых транзакциях	Переход в контрактах на другие валюты, организация новых финансовых потоков	Увеличение сроков поставок	5
			Незначительный рост себестоимости	4
2	Запрет на поставку материалов и комплектующих изделий для изготовления продукции	Переход на новую технологию. Замена оригинальных элементов отечественными или зарубежными аналогами	Потеря качества конечной продукции	6
			Потеря доли рынка	6
		Переход на новую продукцию	Дополнительные затраты на освоение новых видов продукции, затраты на НИР	3
			Дополнительные затраты на продвижение новой продукции на рынке	4

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
3	Ограничение на использование программного обеспечения	Перепрошивка систем управления и контроля оборудования	Снижение производительности, точности и функциональности оборудования.	6
		Замена блоков систем управления и контроля	Затраты на монтажные работы и настройку. Временная остановка производства.	7
4	Ограничение на поставку инструмента, запасных частей и материалов для проведения ремонта и ТО	Заключение контрактов на поставку оригинальных элементов в нейтральных странах	Рост себестоимости	6
		Приобретение аналогов	Снижение качества выпускаемой продукции, снижение выпуска	7
		Изготовление и восстановление собственными силами деталей и узлов машин	Дополнительные затраты на НИР и организацию производства	8
		Замена оборудования	Остановка производства, расходы на замену оборудования	9

На основе анализа экспертных оценок можно сделать вывод, что наибольшую угрозу представляют ограничения физических поставок оборудования, запасных частей к нему и инструмента. Причем, если дефицит инструмента можно заменить аналогами, то установка контрафактного некачественного узла или детали в многофункциональный обрабатывающий станок, может привести к производственной аварии и травмам персонала.

2. Моделирование системы

Современное многофункциональное оборудование нуждается в тщательной настройке и обслуживании, которое невозможно без высококачественных материалов, специальных инструментов, диагностических приборов и компетенций персонала. Со временем подвижные узлы и механизмы подвергаются износу, вследствие чего теряется точность и, соответственно, снижается качество обрабатываемых деталей. Производственная система начинает испытывать многостороннюю нагрузку: с одной стороны растут затраты на ремонт, с другой – увеличиваются простои

оборудования, вызванные необходимостью обслуживать оборудование, растут расходы на устранение брака (см. рис. 1).



Рис. 1. Изменение времени для ремонта и технического обслуживания сложных технических объектов в зависимости от сроков их эксплуатации (расчеты автора на основе имитационной модели)

На диаграмме (см. рис. 1) отображены нормы времени на ремонт и обслуживание сложного технического объекта (СТО) на примере технологического оборудования – многофункциональный обрабатывающий центр типа IRONMAC IMU-5X 400 PRO, которые рассчитаны на основе имитационной модели. Время работ по обслуживанию коррелирует с простоями поточной линии, куда встроено данное оборудование. Исходными данными имитационной модели является техническая документация по эксплуатации и статистика поломок и сбоев работы оборудования. В основе модели лежало предположение, что СТО состоит из множества элементов и подсистем, которые имеют разный срок службы до момента наступления их критического износа. Модель показывает цикличность функционирования оборудования и тенденцию к росту простоев и, соответственно, производственных затрат. Критическими для производственной системы является, по расчетам модели, четвертый год эксплуатации станка, когда необходимо провести массовую замену и ремонт его основных элементов и механизмов. Для обеспечения качественного технического обслуживания и ремонта необходимо иметь комплект запасных частей и расходных материалов, отсутствие которых представляет серьезную угрозу всей производственной системе.

Ранее была разработана имитационная модель технологического цикла изготовления партии шестерен на металлорежущем оборудовании с использованием различных типов инструментов [1, 2]. В качестве переменной в модель была введена вероятность срыва поставок рекомендованного технологией инструмента, что повлекло замену его аналогами с более низкими характеристиками, вследствие чего увеличилось оперативное время только на одной операции, в результате чего наблюдалась критическая перегрузка рабочего места (больше 15 %), после чего приходилось замедлять производительность линии, что приводило к росту постоянных затрат на единицу продукции и увеличению себестоимости изделия (см. рис. 2).

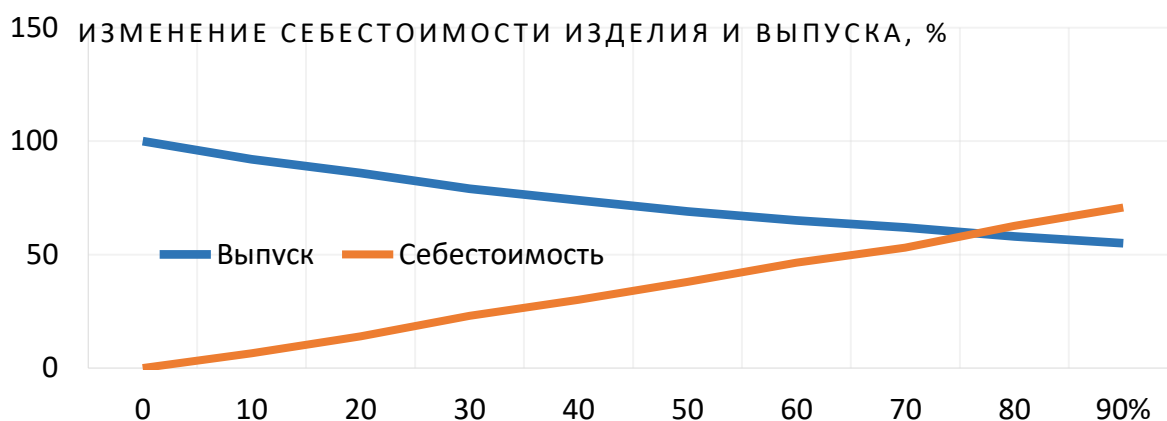


Рис. 2. Зависимость основных показателей производства от отклонения оперативного времени одной операции поточной линии

Как видно из графика, построенного по данным имитационной модели, замена расчетного инструмента на другой может привести к срыву планового задания, которое приведет к негативным последствиям и в смежных подразделениях предприятия.

При организации защиты производственной системы и обеспечения ее устойчивости наибольшее распространение получили два подхода – дублирование основных технологических процессов за счет установки резервного оборудования [5] и создание фонда запасных частей и материалов для ремонта и техобслуживания СТО – станков, транспортных устройств, климатических установок и других устройств, обеспечивающих нормальное протекание производственного процесса.

Резервирование является весьма действенным методом защиты системы и широко применяется для повышения ее устойчивости в авиации, судостроении, военной технике и других сферах. Рационально применять данный метод на приоритетных участках, где сбои в работе оборудования вызывают неприемлемые для производственной системы простои. Однако на действующем предприятии реализация данного метода может быть затруднена нехваткой производственных площадей для организации дублирующих участков. Резервирование обычно применяют в процессе проектирования сложных технических объектов, закладывая дублирующие функции и элементы в архитектуру системы. Кроме того, встроить резервные мощности в уже функционирующую производственную систему представляется на данном этапе затруднительным, ввиду сложившегося, вследствие введенных внешних ограничений, дефицита на местном рынке оборудования.

Создание фонда запасных частей, материалов и инструмента (ФЗИП) на предприятии является чрезвычайно актуальной задачей в условиях логистической неопределенности. Фонд позволяет предприятию самостоятельно проводить ремонты и техобслуживание установленного оборудования, что повышает устойчивость системы к внешним воздействиям. Недостатком этого метода можно считать ограничения на поставку

оригинальных запасных частей, сложность и ненадежность логистических цепочек так называемых «серых схем» и снижение эффективности оборотных средств предприятия, часть которых замораживается в запасах.

Общим для представленных методов организации защиты системы является фактор зависимости от внешнего воздействия. Осложнение международных расчетов, ограничения поставок, срыв контрактов с зарубежными партнерами, попавшими под вторичные санкции и другие воздействия, вносят элемент неопределенности в работу предприятия, которая может привести к серьезным последствиям.

Устойчивость системы проявляется и в ее возможности определенное время функционировать автономно, будучи частично или полностью изолированной от внешней среды. Для производственной системы автономность обеспечивают резервные источники энергии, например, дизельные электрогенераторы, складские запасы материалов и комплектующих, наличие денежных средств в кассе предприятия и др. Особое место здесь занимает собственное ремонтное и инструментальное хозяйство предприятия, ранее функционировавшее практически на всех крупных и средних предприятиях, компетентные специалисты которых обеспечивали бесперебойную работу основного производства и вспомогательных служб. Развитие рыночных отношений привело к тому, что функции этих важных подразделений, в целях оптимизации затрат, были переданы на аутсорсинг внешним компаниям. Сервисные фирмы в соответствии с заключенными контрактами, проводили гарантийные ремонты и практически все регламентные работы на оборудовании, обеспечивали технологический процесс необходимым инструментом и компьютерными программами. Введение внешних ограничений вынудило сервисные компании покинуть российский рынок, что поставило многие отечественные предприятия в сложную ситуацию.

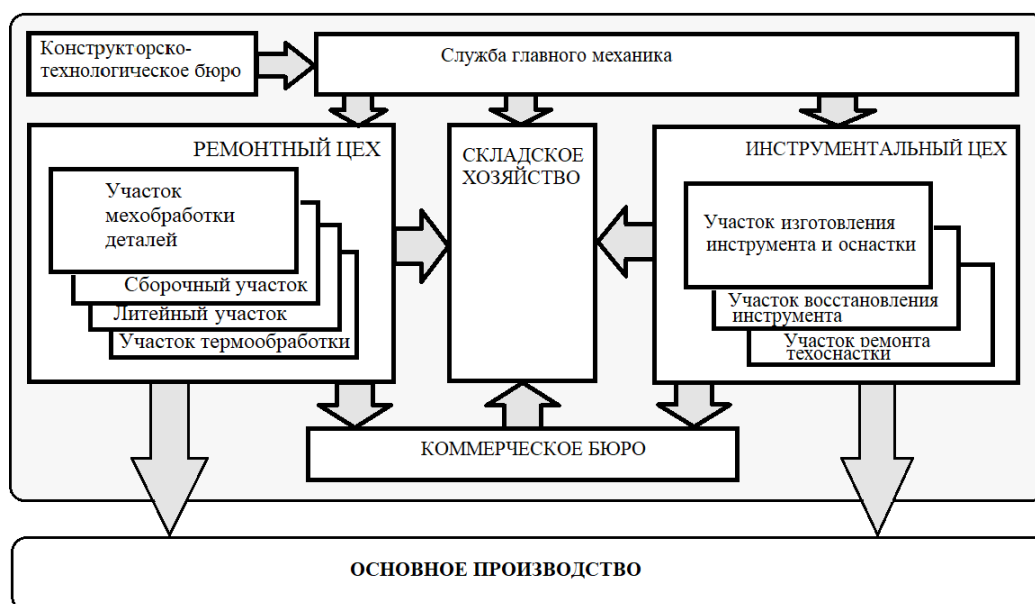


Рис. 3. Структура ремонтно-инструментального производственного подразделения

В целях снижения финансовых и коммерческих рисков и повышения устойчивости, на крупных и средних предприятиях предлагается организовать подсистему, обеспечивающую устойчивость и технологическую безопасность предприятия. Такой структурой внутри производственной системы может стать ремонтно-инструментальное производственное подразделение, которое должно собственными силами оперативно изготавливать новые и восстанавливать изношенные инструменты и детали технологического и вспомогательного оборудования. Организационная структура подразделения показана на схеме (см. рис. 3).

Подразделение формируется объединением инструментального и ремонтного хозяйства, которые входят в критическую инфраструктуру предприятия с единым управлением.

Заключение

Устойчивость производственной системы определяется способностью восстанавливать траекторию своего развития не только после устранения воздействия негативных факторов, но и возможностью успешно адаптироваться к внешней среде. Кроме того, жизнеспособная система должна быть способна определенное время функционировать автономно, в условиях частичной изоляции от внешней среды.

Важнейшим элементом производственной системы в условиях неопределенности должна стать структура, обеспечивающая устойчивость и технологическую безопасность организации, в которую входят элементы критической инфраструктуры – ремонтное и инструментальное хозяйство, которые обеспечивают нормальное протекание всех процессов на предприятии.

Список литературы

1. Бобков А. Н., Славянов А. С. Особенности организации производственного процесса и инструментального хозяйства в условиях нестабильности // Экономика и бизнес. – 2023. – № 7(101). – С. 15–19.
2. Бобков А. Н., Славянов А. С., Хрусталева Е. Ю. Подходы к организации инструментальной инфраструктуры на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения в условиях нестабильности // Научный журнал КубГАУ. – 2023. – № 191(07). – С. 296–301.
3. Вайкок М. А. Понятие производственной системы промышленного предприятия и этапы ее развития // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. – 2016. – № 40-2. – С. 105–117.
4. Мюллер Э., Шенк М., Вирт З. Планирование и эксплуатация промышленных предприятий: Рабочие методики для адаптивного, сетевого и ресурсосберегающего предприятия. – М.: Альпина Паблишер, 2019. – 978 с. – С. 71.
5. Славянов А. С. Подходы к организации гибкого поточного производства // Сборник научных трудов XII международного конгресса по контроллингу / Под научной редакцией д. э. н., профессора С. Г. Фалько. – М.: НП «Объединение контроллеров», 2023. – С. 213–219.
6. Туровец О. Г., Родионова В. Н. Организация производства на предприятии. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 207 с.
7. Шотыло Д. М. Сущность и содержание устойчивости производственной системы // Экономинфо. – 2006. – № 6. – С. 8–12.