

# УСТОЙЧИВОСТЬ И САМООРГАНИЗАЦИЯ АНСАМБЛЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Клепарский В.Г., Клепарская Ек.В.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,  
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65*

kleparvg@ipu.ru

*Аннотация: По данным “пассивного эксперимента” с применением неравенства Чебышева проведена оценка вероятностных изменений устойчивости крупномасштабных производственных систем в пределах сложившегося в процессе эволюции ансамбля предприятий черной металлургии.*

Ключевые слова: крупномасштабная производственная система, управленческо-организационные мероприятия

## Введение

Управление крупномасштабной производственной системой (КПр-системой) представляет собой многоуровневый процесс формирования желательного “русла” развития посредством соответствующих управленческо-организационных мероприятий (УОМ) – см., например, [1]. Этот самый сложный процесс реализации потенциальных возможностей системы существенно осложняется в условиях глобального рынка, когда любая КПр-система становится частью (подсистемой) некоторой складывающейся группы (ансамбля) тесно взаимодействующих однотипных производственных систем. Законы конкуренции в пределах этой своеобразной динамической мезосистемы понуждают топ-менеджмент отдельных КПр-систем добиваться выхода на режим минимума средних (по формируемому ансамблю) валовых издержек, чтобы обеспечивать надежное встраивание управляемой системы в зону аттракции ансамбля в процессе эволюции (см., например, [2]). Для реализации успешного функционирования КПр-системы в условиях рынка необходима поэтому идентификация изменений положения управляемой КПр-системы в пределах ансамбля (с целью последующей коррекции предпринимаемой УОМ-активности). В настоящей работе по данным “пассивного эксперимента” с применением модернизированного метода трансверсального сечения Пуанкаре и с опорой на неравенство Чебышева проведено изучение особенностей сохранения групповой устойчивости КПр-систем в процессе эволюции формируемого ансамбля. Полученные результаты открывают возможность реализации адекватной УОМ-активности структур управления КПр-системы в процессе эволюции, что имеет важное прикладное значение.

## 1 Исходные модельные представления

Сложности чисто теоретического выявления влияния УОМ-активности топ-менеджмента на процесс функционирования КПр-системы в условиях реального рынка привели к широкому использованию методов “пассивного эксперимента”. В условиях заметно меняющихся рыночных взаимоотношений для структурирования данных “пассивного эксперимента” становится необходимым применение статистических методов с использованием понятия эргодичности. Для динамической системы  $x(x_0, t) = T(t, t_0)x_0$ , определяемой оператором  $T$ , свойство эргодичности означает, что для каждой складывающейся группы однотипных систем с конечной динамикой выполняется условие (см., например, [3])

$$\overline{f(x \in \Gamma_k)} = \langle f(x \in \Gamma_k) \rangle = \int_{\Gamma_k} f(x) \rho(x, t) dx, \quad (1)$$

Здесь  $\rho(x, t)$  – вероятность нахождения системы в объеме  $d\Gamma$  с координатой  $x$  в момент времени  $t$ .

Использование свойства (1) открывает возможность применения модификации метода трансверсальной секущей плоскости Пуанкаре (см., например, [4,5]), когда по данным “пассивного эксперимента” для сравнительно небольшого числа компаний (корпораций), достаточно близких по объему продаж, удается получить двумерную карту точек пересечения задаваемой секущей плоскости Пуанкаре траекториями сложившегося ансамбля КПр-систем. Идентификация положения любой КПр-системы в пределах возникающего ансамбля может быть проведена с использованием функции плотности распределения вероятности – ПРВ, определяющей вероятность нахождения системы в интервале состояний достигнутых КПр-системами ансамбля в рассматриваемый период времени. Максимум функции ПРВ соответствует центральной линии зоны аттракции.

Необходимо отметить, что для реальных КПр-систем и их ансамблей межсистемные связи характеризуются различными уровнями корреляционной связи и различными уровнями памяти. В

работе [6] было показано, что распределение условной плотности вероятности  $p(r_i)$  относительного роста фирм  $r \equiv \ln(S_1/S_0)$  от объема начальных продаж (здесь  $S_1$  и  $S_0$  – продажи фирмы за два следующих друг за другом года) достаточно хорошо описывается выражением

$$p(r_i) = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|r_i - \bar{r}|}{\sigma}\right) \quad (2)$$

Здесь  $\bar{r}$  – усредненная скорость ежегодного роста объема продаж фирм и  $\sigma$  – величина стандартного отклонения для кривой плотности распределения фирм по росту объема продаж на протяжении года.

Получаемые для различных периодов эволюции КПр-системы данные позволяют определить значения показателя относительного роста объема продаж  $r_i \equiv \ln(S_{i1}/S_{i0})$  для отдельных систем и средне взвешенного значения  $\bar{r}$  для зоны аттракции рассматриваемого ансамбля. Чрезмерное удаление положения какой-либо КПр-системы от “стрелы” зоны аттракции (фиксируется в виде  $|r_i - \bar{r}|$ ) сигнализирует о вполне вероятном “выбросе” данной системы из сложившегося ансамбля – сложной динамической мезосистемы. Для математического объяснения подобного проявления самоорганизации воспользуемся требованием предельных законов распределения: в состав суммы отдельных слагаемых не должны входить члены явно преобладающие над совокупностью остальных по своему влиянию на рассеивание суммы (см, например, [7]). Оценку верхней границы возможного уклонения  $P_{dev}$  будем выполнять с опорой на ниже приведенное неравенство Чебышева:

$$P_{dev}(|r_i - \bar{r}| \geq \varepsilon) \leq \frac{D}{\varepsilon^2} = \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2} \quad (3)$$

Здесь  $D$  – дисперсия,  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение ( $D = \sigma^2$ ).

Такой подход позволяет получить оценку вероятности того, что величина  $r_i$  ежегодного роста объема/спада продаж интересующей нас КПр-системы получит какое-либо значение из тех, что уклоняются от сложившегося для ансамбля среднестатистического значения  $\bar{r}$  в ту или иную сторону большею, чем на  $\varepsilon$ .

## 2 Исследование изменений конфигурации зоны аттракции для сложившегося ансамбля ведущих металлургических компаний России

В качестве объекта “пассивного эксперимента” были выбраны предприятия черной металлургии России. Исторически сложившееся развитие черной металлургии России привело к ситуации “расплавчатой” олигополии, при которой шесть-восемь фирм делят примерно 70-80% рынка, в то время как “конкурентное окружение” из существенно меньших фирм делит оставшуюся часть рынка. По состоянию на 2015-2019 гг., к примеру, к таким крупнейшим металлургическим фирмам России могли быть отнесены: ЕвразГрупп, Северсталь, Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК), Магнитогорский МК (ММК), группа Металлоинвест, группа Мечел, Трубная металлургическая компания, (см. Таблицу 1). Другие достаточно крупные предприятия черной металлургии (примерно 8-10 компаний), не входящие в ежегодно публикуемый журналом «Эксперт» список 400 крупнейших фирм России, имеют существенно меньший объем продаж. Для исследования был выбран период 2015-2019 годов. За это время в России режим стагнации производства металлопродукции (2015-2016 гг.) сменился переходом к росту объема продаж (2017 и 2018 гг.), а затем последовал резкий спад 2019 г.. Сконцентрированные в Таблице 1 данные (полученные по публикациям в журнале “Эксперт 400” за соответствующие годы) позволяют рассматривать группу из 6-ти первых КПр-систем, как сложившуюся (к 2015-2016 гг.) группу ведущих металлургических компаний России. Начиная с 2017 г. к этой группе можно отнести и Трубную металлургическую компанию (ТМК).

Данные Таблицы 1 позволяют построить (с использованием формулы (3) графики кривых плотности распределения  $p(r/s_0)$  ежегодного роста объема реализации продукции  $r \equiv \ln(S_1/S_0)$  для ведущих металлургических компаний России.

Таблица 1. Объем реализации продукции (млн. руб.) и ежегодный рост объема продаж для ведущих металлургических компаний России (2015-2019 гг.)

NN	Компания	Объем реализации продукции, млн. руб.					Ежегодный рост объема продаж, %			
		2015	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019
1	Евраз групп	534102	517040	631787	804917	770684	-3,2	22,2	25,8	-4,3
2	Группа НЛМК	485346	508158	587321	756222	683608	4,7	15,6	28,8	-9,6
3	Северсталь	382204	385262	457521	537130	527752	0,8	18,7	17,4	-1,7
4	ММК	354217	373699	439972	514556	499742	5,5	17,7	17,0	-4,8
5	Металлоинвест	267888	285569	363613	450681	450583	6,6	27,3	24,0	0,0
6	Группа Мечел	253219	276009	299328	312574	298567	9,0	8,4	4,4	-5,1
7	Трубная МК	246830	222570	256023	319399	308378	-9,8	15,0	24,8	-3,5
8	Объедин. МК	159740	140000	166000	174000	150000	-12,3	18,6	4,8	-13,8
9	Группа ЧТПЗ	147241	135456	158257	178840	192278	-7,9	16,9	13,0	7,5

Представленные на Рис. 1 графики показывают изменение конфигурации кривой ПРВ -  $p(r/s_0)$  ежегодного роста объема продаж изучаемых КПр-систем в период смены периода стагнации (2016 г.) на последующий подъем (2017 г.). Можно заметить, что в 2016 г. среди пяти ведущих металлургических компаний России (имевших  $\Delta S, \% > 0$ ) наиболее отстающей от центральной линии зоны аттракции была компания Северсталь (точка 3 с координатой-абсциссой  $r_3 = 0,008$  и значением ординаты  $p_3(r/s_0) = 2,47$ ). Группа Мечел (точка 6) продемонстрировала в 2016 г. наилучшие результаты, обладая наибольшим значением ежегодного роста объема реализации продукции. В 2017 г. группа Мечел, лидировавшая в 2016 г., стала заметно отставать от других компаний ансамбля. И это отставание среди 6-ти других крупнейших металлургических компаний, как показано на Рис.2 в 2018 г. (конфигурация зоны аттракции для сложившегося ансамбля представлена треугольничками), еще более усилилась. Самоорганизация ансамбля преуспевающих металлургических компаний России (обозначен квадратиками) произошла с “выбросом” Мечел из этого ансамбля.

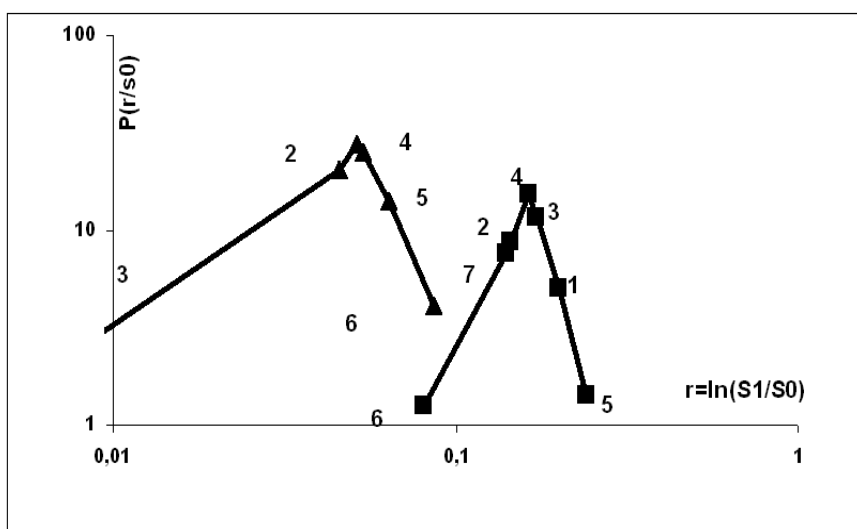


Рис. 1. Изменение конфигурация кривой ПРВ в процессе перехода от периода стагнации.2016 г. (треугольнички) к периоду подъема 2017 г. (квадратики). Номера точек: 1 – Евраз групп, 2 – Группа НЛМК, 3 – Северсталь, 4 – Магнитогорский МК, 5 – Metalloinvest, 6 – Группа Мечел, 7 – Трубная металлургическая компания.

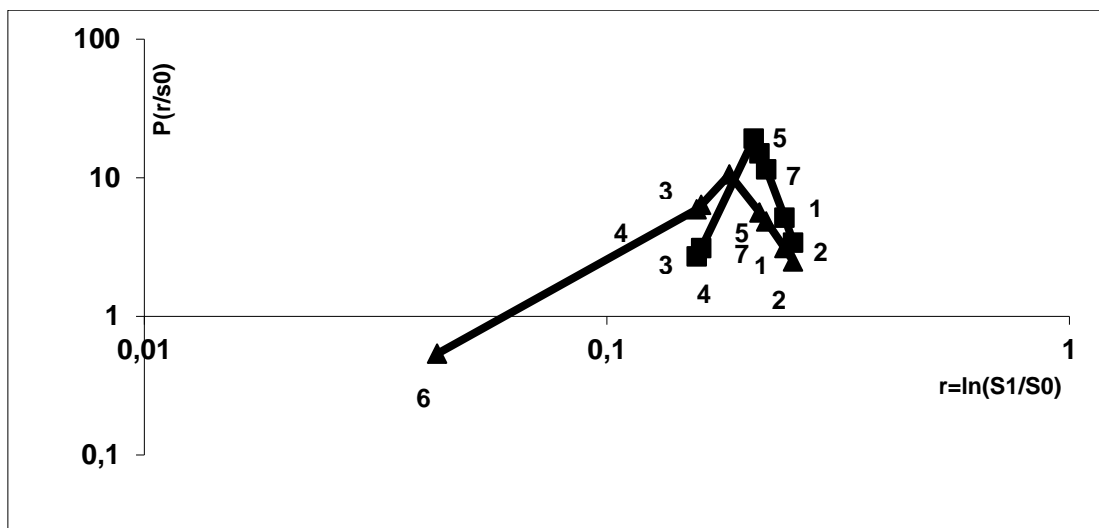


Рис. 2. Изменение конфигурация кривой ПРВ в процессе "выброса" отстающей компании "Мечел"

(точка 6) из первоначально сформированной в 2018 г. зоны аттракции для ведущих металлургических компаний России. Номера точек : 1 – Евраз групп, 2 – Группа НЛМК, 3 – Северсталь, 4 – Магнитогорский МК, 5 – Металлоинвест, 6 – Группа Мечел, 7 – ТМК.

В 2019г. для всех КПр-систем черной металлургии России, как это зарегистрировано в Таблице 1, был отмечен резкий спад объема продаж. При этом из ведущих КПр-систем наибольшее падение ( $\Delta S, \% = -9,6\%$ ), было отмечено для группы НЛМК. Представленная на Рис. 3 конфигурация зоны аттракции вновь сформированного объединенного ансамбля КПр-систем черной металлургии России позволяет заметить, что в 2019 г. наибольшее отклонение от центральной линии ансамбля было у группы НЛМК ( $r_i = -0,1$ ).

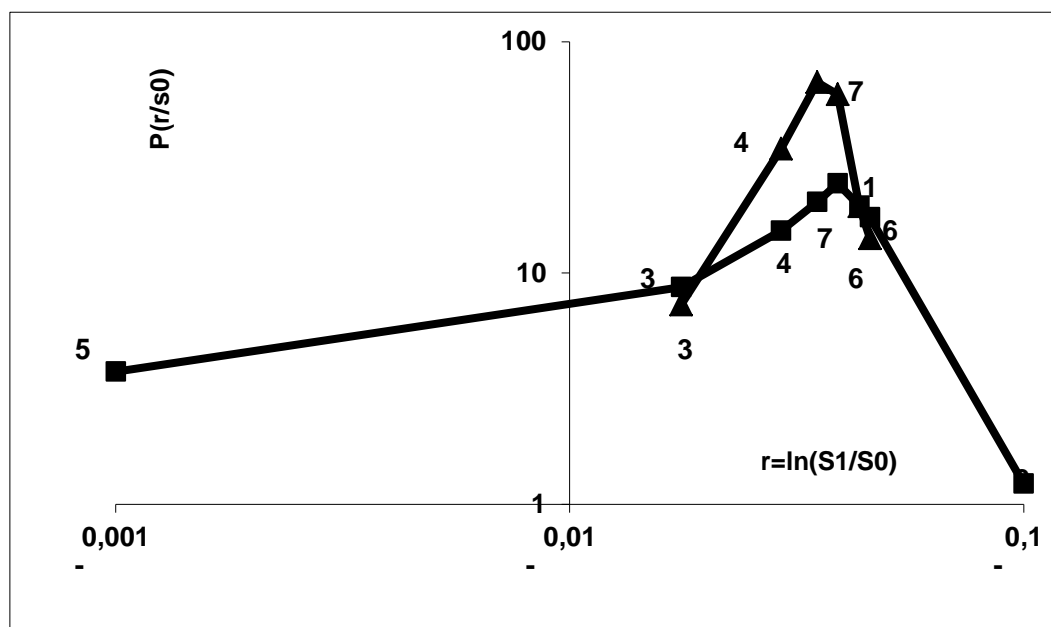


Рис.3. Конфигурация кривой ПРВ, как результат резкого спада объема продаж

в 2019 г. – точки- квадратики. (Значения  $r \equiv \ln(S_1/S_0)$  отрицательны). Измененная конфигурация кривой ПРВ – точки-треугольнички – в результате выброса НЛМК (2) и Металлоинвест (5). Номера точек прежние

### 3 Обсуждение результатов

Представленные на Рис. 1-3 конфигурации кривой ПРВ значений относительного роста/спада объема продаж  $r \equiv \ln(S_1/S_0)$  для ведущих КПр-систем черной металлургии России показывают заметное изменение положения изучаемых систем в пределах складывающегося ансамбля. Для такой,

например, КПр-системы, как группа Мечел, обремененной значительными финансовыми обязательствами (см., например [8]), в 2018 г. был отмечен “выброс” системы из общей зоны аттракции сложившегося ансамбля.

Для объяснения выявленного феномена самоорганизации однотипных КПр-систем заметим, что в 2016 г. среди пяти ведущих металлургических компаний России (имевших  $\Delta S, \% > 0$ ) наиболее отстающей была компания Северсталь (точка 3 с координатами  $r_3 = 0,008$  и  $p_3 = 2,47$ ). Отклонение положения компании Северсталь от центральной линии кривой ПРВ –  $(\bar{r} - r_3) = 0,0515 - 0,008 = 0,0435$ . При значении стандартного отклонения  $\sigma = 0,0254$  имеем, следуя неравенству Чебышева (формула (3)), вероятность “выброса” компании Северсталь за пределы сложившейся зоны аттракции – величины уклонения  $P_{dev} \leq 0,34$ . Такое значение уклонения  $P_{dev} \leq 0,34$  делало “выброс” компании Северсталь ( $\Delta S, \% = 0,8\%$ ) из группы успешно развивающихся КПр-систем вполне вероятным. Но в благоприятный 2017 г., показав относительный рост объема продаж  $\Delta S = 18,7\%$ , компания Северсталь уверенно вошла в группу лидирующих КПр-систем черной металлургии России.

Для группы Мечел, обремененной значительными финансовыми обязательствами, связанными с освоением Эльгинского месторождения высококачественного коксующего угля в южной части Якутии (см., например, [8]), развитие ситуации оказалось сложнее. Предполагая возможным существование в начале 2018 г. общей зоны аттракции (6 крупнейших + группа Мечел – треугольнички на Рис. 2) получаем отклонение положения группы Мечел от центральной линии кривой ПРВ равным  $(\bar{r} - r_6) = 0,086$ . При величине  $\sigma = 0,067$  для объединенной зоны аттракции (6 + Мечел) значение вероятности уклонения  $P_{dev} \leq 0,226$ . И этого оказалось вполне достаточным для “выброса” в 2018 г. компании Мечел, из сложившегося ансамбля преуспевающих металлургических компаний России.

В 2019 г. произошло достаточно резкое сжатие мирового спроса на продукцию черной металлургии. Как результат, ведущие КПр-системы черной металлургии России оказались в зоне спада. Наиболее заметное снижение объема продаж было отмечено для группы Мечел (-5,1%) и для группы НЛМК (-9,6%) – смотри Таблицу 1. Для группы Мечел это было обусловлено снижением рентабельности металлургического сегмента (с 14% в 2018 г. по EBITDA до 7% в 2019 г.) и большими трудностями при обслуживании существующих долгов (см., например, [8,9]). Для группы НЛМК, отправлявшей в свои филиалы во Франции и Италии примерно 10% продукции стальных слябов, резкое сокращение объема продаж в значительной мере было обусловлено замедлением мировой экономики. Как результат, вероятность уклонения для группы НЛМК оказалась равной  $P_{dev} \leq 0,227$ . Наибольшее отклонение от центральной линии кривой ПРВ оказалось для компании Металлоинвест -  $(\bar{r} - r_5) = 0,0389$ . При величине  $\sigma = 0,0291$  для объединенной (из 7-ми ведущих компаний) зоны аттракции вероятность уклонения для Металлоинвест  $P_{dev} \leq 0,56$ . Результат самоорганизации (с “выбросом” Металлоинвест и НЛМК) привел, как это представлено на Рис. 3 к формированию более компактного ансамбля (из 6-ти компаний).

## Заключение

По данным “пассивного эксперимента” проведено изучение изменений взаимного положения крупнейших предприятий черной металлургии России в процессе эволюции за 2015-2019 годы. Для конфигурации зоны аттракции сложившегося в 2018 г. ансамбля – достаточно сложной динамической мезосистемы – был отмечен “выброс” системы (группы Мечел) из общей зоны аттракции. Для математического объяснения выявленного феномена была выполнена (с опорой на известное неравенство Чебышева) оценка верхней границы вероятности вполне возможного уклонения –  $P_{dev}$  положения системы от сложившегося для ансамбля “русла” развития, как для группы Северсталь (2016 г.), так и для группы Мечел (2018 г.). Полученные результаты позволяют заметить, что в процессе эволюции ансамбля КПр-систем под воздействием всегда возможных возмущающих воздействий с достаточно большой вероятностью могут иметь место существенные “выбросы” какой-либо системы от центральной линии “русла” аттракции сложившегося ансамбля. Оценка возможного уклонения –  $P_{dev}$  является необходимой составляющей предварительной оценки риска управленческих решений топ-менеджмента при проработке капиталоемких проектов.

## Литература

1. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами. – М.: URSS. 2008.
2. Coase R. The Institutional Structure of Production. // The American Economic Review, 1992, vol.82, no4, pp. 713-719.
3. Zaslavsky G.M. Chaos, fractal kinetics, and anomalous transport. Chapt. 11. Dynamical traps and statistical laws. // Physics Reports, 2002, Vol.371, pp.461-580.
4. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Эдиториал, 2000.
5. Клепарская Е.В., Клепарский В.Г. Оценка изменений групповой устойчивости крупномасштабных производственных систем в кризисной ситуации.// АиТ. 2016, № 7, стр. 142-151.
6. Stanley M.H.R., Amaral L.A.N., Buldyrev S.N., et al. .Scaling behavior in the growth of companies. // Nature. – 1996. – Vol.379. – P. 804–806.
7. Гнеденко Б.В., Хинчин А.Я. Элементарное введение в теорию вероятностей. М.: “Наука”, 1976.
8. Ульянов Н. “Мечел” может расстаться с Эльгой. // Эксперт, 2019, № 36, стр. 26-28.
9. Пахунов К. “Мечелу” традиционно нездоровится. // Эксперт, 2020, № 37, стр.18-20.