



## КОРРЕКЦИЯ ПРОЕКТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ро Тэ Кюн, А.Г. Дьячко, О.М. Смирнов (МИСиС)

Приведена динамическая математическая модель инновационного проекта отделения производства литых заготовок для нового завода по производству труб большого диаметра (ЗТБД) в г. Нижнем Тагиле. Моделированием проектных режимов в динамике показано наличие больших резервов в оборудовании и его загрузке, предложены и апробированы на модели организационно-управленческие меры, снижающие потребности в ресурсах. Прогнозным моделированием в динамике проанализировано влияние случайных помех на результаты функционирования, предложен и апробирован алгоритм управления, обеспечивающий устойчивую работу объекта при наличии помех случайного характера.

В соответствии с разработанной методикой [1], моделирование во времени функционирования модернизируемых объектов бизнеса в проектном режиме предлагается как дополнительный этап между разработкой инновационного проекта и составлением бизнес-плана его реализации, позволяющий уточнить проектные показатели с целью экономии затрат и других ресурсов. Рассмотрим эффективность методики на примере инвестиционного проекта ЗТБД в г. Нижнем Тагиле [2-5], строительство которого рассчитано, при условии своевременного финансирования, примерно на 6 лет. Проектом предусмотрено, что трубная заготовка (слябы) будет изготавливаться в модернизированном отделении производства непрерывно-литых заготовок на действующем Нижнетагильском металлургическом комбинате (НТМК) и далее в горячем состоянии транспортироваться и подаваться ("горячим посадом") в прокатный стан 5000 нового ЗТБД.

Рассмотрим процесс функционирования отделения непрерывной разливки стали для производства труб большого диаметра и толстого листа в соответствии с инновационным проектом строительства ЗТБД в г. Нижнем Тагиле с помощью динамической функционально-управленческой модели этого участка производства, представленной на рис. 1. Для предус-

мотренных инновационным проектом проектных показателей и технологических параметров оборудования (табл. 1 и 2) [2-5] оценим с помощью предложенной методики загрузку во времени оборудования этого отделения (одну из наиболее капиталоемких составляющих проекта) и взаимосвязанную с ней загрузку производственного персонала.

Результаты динамического моделирования проектного режима функционирования отделения производства непрерывно-литых заготовок для труб большого диаметра приведены на рис. 2 при проектных условиях, отраженных в табл. 2.

При этом обеспечивается выполнение предусмотренных инновационным проектом показателей про-

Таблица 1. Основные технико-экономические показатели производства литой заготовки для труб большого диаметра согласно инновационному проекту

Проектные показатели производства	Численное значение
Масса плавки по готовым слябам, т	160
Число плавки в одной серии, ед.	10
Скорость разливки, м/мин	0,62...1,45
Время разливки одной плавки, мин	39
Вес одного сляба, т	до 24,5
Годовой фонд рабочего времени, сут.	250
Годовая производительность по готовым слябам, тыс. т	1300

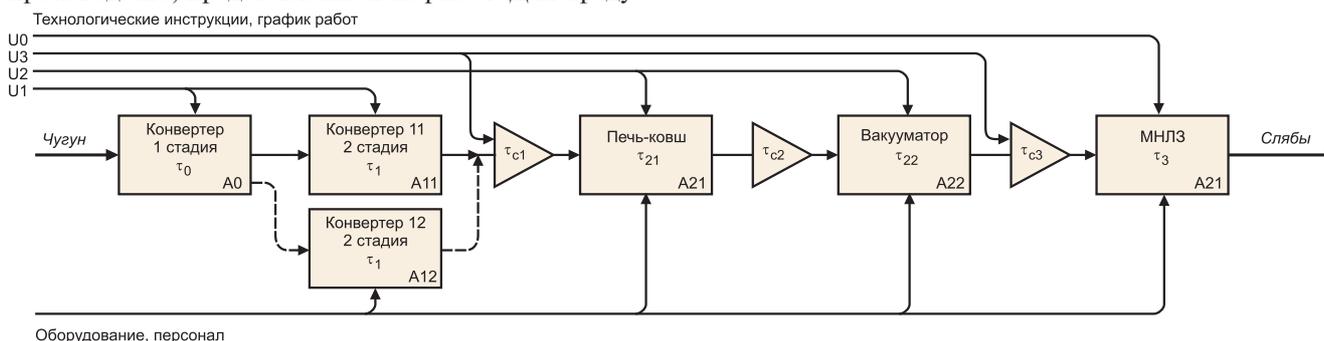


Рис. 1. Динамическая функционально-управленческая модель участка производства непрерывно-литых заготовок для ЗТБД в г. Нижнем Тагиле, где A0, A11, A12, A21, A22, A3 – агрегаты технологической схемы производства,  $\tau$  (с цифровой частью индекса агрегата) – среднее время выполнения технологической операции,  $\tau_c$  – время выполнения инерционной связи; U0 – U3 – управляющие воздействия (графики работы агрегатов)

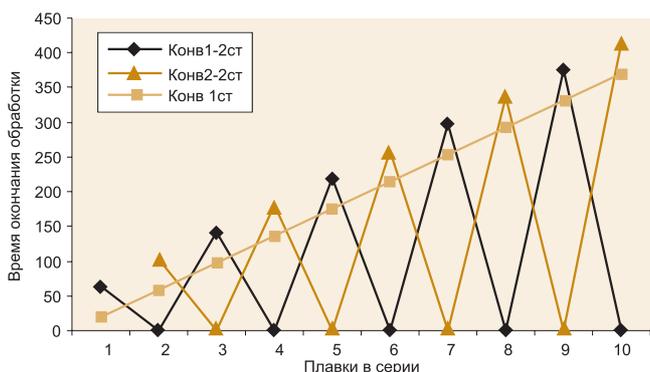


Рис. 2

Таблица 2. Проектные показатели продолжительности технологических операций отделения непрерывного литья заготовок для производства труб большого диаметра

Технологическая операция	Время выполнения технологических операций	
	Обозначение	Значение (мин)
Плавка стали в конвертере:		
- первая стадия		12
- вспомогательные операции первой стадии	$\tau_0$	8
- вторая стадия		38
- вспомогательные операции второй стадии	$\tau_1$	6
Транспортировка "конвертер – печь-ковш"		
- в обычном режиме	$\tau_{c1}$	10
- в ускоренном режиме подъема ковша	$\tau_{c1}$	8,5
Технологическая обработка на печи-ковше	$\tau_{21}$	40
Транспортировка "печь-ковш – вакууматор"	$\tau_{c2}$	3
Технологическая обработка в вакууматоре	$\tau_{22}$	25
Транспортировка "вакууматор – МНЛЗ"		
- в обычном режиме	$\tau_{c3}$	10
- в ускоренном режиме подъема ковша	$\tau_{c3}$	8,5
Разливка на МНЛЗ, мин	$\tau_3$	39,0
Среднее время ожидания разливки на МНЛЗ следующей плавкой, мин	$\omega_3$	4,0

изводства заготовок. Действительно, при годовом фонде рабочего времени 250 сут. (профилактические и ремонтные работы считаем выполняющимися вне этого фонда времени, т.е. в оставшиеся дни года) годовой объем производства рассматриваемого отделения в пересчете на заготовки для труб диаметром 1420 мм и весом 24,5 т составит 1440 тыс. т готовой продукции или 110,77% относительно проектного показателя объема производства (1300 тыс.т.) (табл. 1).

Из рис. 2 следуют недостаточная загрузка оборудования обеих стадий конвертирования (функциональных блоков А0, А11 и А12). Также имеют место простои печи-ковша (блок А21) и вакууматора (блок А22), определяемые недостаточно интенсивным материальным потоком на входе этого специфического оборудования. Поэтому уплотнение графика работы всей линии доводки, куда входят и агрегаты А21 и А22, возможно только в связи с интенсификацией работы технологической линии в целом.

Иной оценки заслуживает ситуация на конвертерах обеих стадий, поскольку здесь вспомогательные операции учитываются в суммарном времени занятости этих видов оборудования. При затрате конвертером А0 200 минут на серию выплавки стали (10 плавок) простои составляют 171 минуту или 46,1% от его

общего фонда рабочего времени конвертера А0 при выполнении одной серии плавок (371 минута).

Значительные резервы времени имеются (рис. 2) и у оборудования второй стадии конвертирования (блоки А11 и А12). Так, при соблюдении непрерывности разливки стали на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) в режиме "плавка на плавку" рабочее время обоих конвертеров в одной серии плавок составляет 220 минут, а простои – 136 минут, что составляет 38,2% от фонда рабочего времени каждого из них.

Таким образом, проектные показатели производства слябов обеспечиваются со значительным резервом рабочего времени. Наиболее вероятные организационно-управленческие меры, направленные на реализацию возможности использования этого резерва для более полного использования оборудования:

1. улучшение использования оборудования путем выполнения дополнительных плавок для производства попутной металлопродукции. Поскольку конвертирование – универсальная металлургическая операция, а ее продукция (готовая сталь) имеет широкие и весьма разнообразные направления применения, то целесообразно рассмотреть за счет времени простоев возможность выплавки, например, другой марки стали для других заказов или на продажу.

Однако, как показывают результаты динамического моделирования технологической линии, такая возможность крайне ограничена, поскольку простои конвертеров А0 (19 минут), А11, А12 и остальных агрегатов меньше суммарного времени выполнения ими основных технологических операций, поэтому планирование обработки дополнительных плавок на них нереализуемо;

2. выполнение 2-й стадии дуплекс-процесса одним конвертером и высвобождение второго конвертера. Рассмотрение такой возможности подсказывается большим резервом времени на конвертерах А11 и А12, простои которых близки к затратам времени на основную технологическую операцию. Однако в пределах технологических режимов, предусмотренных инновационным проектом, рассматриваемое мероприятие невозможно. Действительно, если попытаться вторую стадию дуплекс-процесса осуществить на том же конвертере А11, выполнявшем 1-ю плавку из данной серии и закончившем ее обработку на 64-й минуте системного времени, тогда он смог бы приступить к обработке 2-й плавки только на 65-й минуте и завершить ее на 108 минуте. А из результатов моделирования следует, что для обеспечения на МНЛЗ режима "плавка на плавку", эта плавка после второй стадии дуплекс-процесса должна быть готова к 98-й минуте, т.е. на 10 минут раньше. В этом случае 2-я плавка серии после прохождения обработки во всех компонентах (рис. 1) поступит на ее вход позже необходимого времени, что неизбежно приведет к разрыву струи металла на МНЛЗ;

3. снижение скорости разливки на МНЛЗ и сочетание этого мероприятия с приведенными выше ва-

риантами 1 и 2. Реализация проектного режима (табл. 2) приводит к производительности отделения непрерывного литья заготовок для производства труб большого диаметра на 10,77% превышающего предусмотренную этим же инновационным проектом годовую производительность (1440 тыс. т вместо требуемых 1300 т). При этом расчетная скорость разливки составляет 0,804 м/мин, что почти на 30% превышает минимально допустимую (табл. 1). Следовательно, некоторое снижение скорости разливки и соответствующее увеличение времени на выполнение этой операции можно также рассматривать как резерв для улучшения использования технических и временных ресурсов анализируемого участка производства труб большого диаметра в сочетании с приведенными выше вариантами 1 и 2.

Одной из реальных возможностей снижения скорости разливки стали на МНЛЗ является такой ее выбор, чтобы общее время разливки одной плавки совпало со временем второй стадии конвертирования на конвертерах А11 либо А12, включая необходимые им по технологии вспомогательные операции, т.е. составляло бы 44 минуты вместо 39 минут, предусмотренных инновационным проектом. В этом случае все промежуточные технологические и транспортные операции в сумме с математической точки зрения являлись бы временем сдвига, что предопределяет нормальный ход ТП разливки в режиме "плавка на плавку".

Одновременно с этим рассмотрим ситуацию, когда для второй стадии конвертирования будет задействован один конвертер (пусть А11) вместо двух, предусмотренных проектом. Поскольку конвертер А0 находится вне цепочки агрегатов А11 – А3 (т.е. МНЛЗ на схеме рис. 1), то время его функционирования можно сдвинуть так, чтобы конвертер А0 смог выплавить дополнительную плавку для других заказов, например, выполняющихся на высвободившемся конвертере А12.

Результаты моделирования показывают, что использование технических ресурсов по сравнению с проектным режимом существенно более полное при рассматриваемом снижении скорости разливки до 0,712 м/мин, что соответствует проектным данным табл. 2 и обеспечивает продолжительность разливки на МНЛЗ 44 минуты. В этом режиме функционирования отделения производства литых заготовок конвертер А0 способен не только обеспечить потребности производства слябов для труб большого диаметра, но и выплавить дополнительно 9 плавков серии для других заказов металлургического предприятия. При этом остается небольшой запас его времени в виде простоев в 4 минуты между парой плавков для основной технологической линией и одной плавкой на сторону для других заказов. Единственный конвертер 2-й стадии справляется с нагрузкой без простоев. Рабочее время печи-ковша (простои  $\leq 9$  минут в цикле обработки одной плавки) не изменяется, а у вакууматора простои даже увеличиваются вследствие замедления работы МНЛЗ.

Однако общее время выполнения серии из 10 плавков увеличивается на 50 минут в результате медленной работы МНЛЗ. Существенен тот факт, что при рассматриваемом режиме работы отделения производства литых заготовок, предусмотренная инновационным проектом годовая производительность не выполняется. Действительно, при замедлении разливки МНЛЗ до продолжительности разливки одной плавки (44 минуты) годовая производительность в пересчете на заготовки для труб диаметром 1420 мм составляет 1280 тыс. т в год (вместо плановых 1300 тыс. т) или 98,46%, хотя при этом выполняется требование обеспечения заготовками ЗТБД (годовая потребность (табл. 1) составляет 1000 тыс. т). Снижение общей годовой производительности может оказаться неприемлемым, в таком случае необходимо либо увеличить годовой фонд рабочего времени всего отделения производства непрерывно-литой заготовки с 250 до 254 рабочих дней, либо привлечь на короткий период к работе второй, теперь высвобожденный конвертер второй стадии для кратковременной реализации проектного режима производства литых заготовок.

Таким образом, с целью более рационального использования технических ресурсов (и инвестиций) для обеспечения работы рассматриваемого объекта по результатам динамического моделирования можно рекомендовать уменьшенную скорость разливки (в пределах допусков, предусмотренных инновационным проектом), обеспечивающую продолжительность разливки одной плавки 44 минуты. Это дает возможность сократить потребность в технических ресурсах на стадии конвертирования в виде использования одного конвертера второй стадии дуплекс-процесса вместо предусмотренных проектом двух.

В реальных условиях при осуществлении инновационного проекта строительства ЗТБД после пуска всего технологического комплекса в эксплуатацию возможны отклонения от проектных показателей режима функционирования отделения непрерывного литья заготовок по различным непредсказуемым причинам. Одним из серьезных последствий этого могут быть задержки в выполнении отдельных технологических операций, прибытие плавков к МНЛЗ с опозданием сверх установленного лимита времени на ожидание и, как следствие, разрыв струи металла на ее выходе.

Исследуем такие возможности на функционально-управленческой модели с использованием предложенной методики моделирования динамики объектов бизнеса при наличии помех случайного характера.

Входной поток чугуна в моделируемое отделение, согласно проекту, должен поступать из действующего доменного цеха НТМК перевозкой в расплавленном состоянии по внутризаводской железной дороге. Поэтому в процессе этой перевозки возможны различные сбои и задержки случайного характера, что и может явиться причиной отклонения от утвержденного руководством графика работ, не говоря уж о возможных отклонениях и сбоях в самой технологической операции

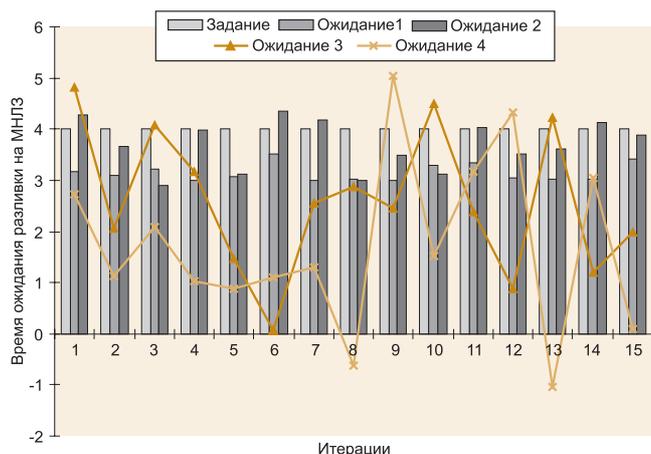


Рис. 3

конвертирования. Поскольку доставка чугуна учитывает график работ на головном агрегате отделения непрерывной разливки (конвертере 1-й стадии), что можно интерпретировать как последствие, то режим функционирования этого конвертера в функционально-управленческой модели будем рассматривать как зашумленный случайными помехами именно с такими статистическими свойствами. В качестве математического ожидания времени выполнения выплавки на конвертере 1-й стадии примем предусмотренную проектом величину, включая необходимые по технологии вспомогательные операции. Будем считать случайные помехи имеющими распределение Эрланга, вследствие наличия указанного выше последствия. Дополнительно положим, что максимум кривой распределения соответствует проектной величине, а размах возможных отклонений случайного характера — в пределах 10% от ее величины. Легко подсчитать в соответствии с рассматриваемой методикой, что соответствующая указанному размаху доверительная вероятность составляет 98,38%, а уровень значимости — соответственно 1,62%.

Для других агрегатов технологической схемы производства литых заготовок для труб большого диаметра (рис. 1) примем, что максимум кривой распределения Эрланга соответствует проектному показателю выполнения соответствующей технологической операции, а размах отклонений составляет 10% от ее величины. Для конвертера 2-й стадии такой размах слишком велик, доверительная вероятность попадания в него составляет 99,87%. Поскольку такая точность явно избыточна, несколько сузим размах отклонений на конвертере 2-й стадии до величины 7% от номинала (44 минуты). Скорость разливки на МНЛЗ при моделировании примем обеспечивающей время разливки одной плавки 44 минуты, как более интенсивно использующее оборудование.

Моделирование работы отделения непрерывного литья заготовок для труб большого диаметра производилось методом статистических испытаний. В качестве результирующего показателя (целевой функ-

ции моделирования) выбрано время ожидания разливки очередной подготовленной плавкой, поскольку этот показатель характеризует режим "плавка на плавку" на МНЛЗ и неразрывность струи металла на ее выходе. Изменение этого показателя в различных исследованных режимах приведено на рис. 3.

Здесь диаграмма "Ожидание1" соответствует наличию помех случайного характера на головном агрегате А0 отделения непрерывного литья заготовок, диаграмма "Ожидание2" и ломаная "Ожидание3" соответствуют наличию помех на первых двух и соответственно трех агрегатах. Как видно из рис. 3, во всех исследованных режимах обеспечивается неразрывность струи металла на выходе из МНЛЗ, а среднее арифметическое время выполнения технологических операций, как оценки их математического ожидания, близки к проектным показателям.

Если же случайным помехам подвержены все основные агрегаты технологической схемы отделения разливки стали, то, как следует из графика "Ожидание4" рис. 3, здесь уже возможны опоздания плавки сверх допустимого времени ожидания (итерации 8 и 13 на рис. 3), поскольку нижний предел 95% доверительного интервала становится меньше нуля, и, следовательно, возможен разрыв струи металла на выходе МНЛЗ.

Таким образом, следует сделать вывод о том, что при наличии помех на всех основных агрегатах моделируемого отделения непрерывного литья заготовок для труб большого диаметра возможны нарушения режима разливки стали "плавка на плавку" и разрыв струи металла на выходе из МНЛЗ, что требует предусмотреть специальные организационно-управленческие меры, направленные на недопущение этого. Исследуем такие возможности.

1. Оснащение всей технологической линии непрерывного литья заготовок эффективными АСУТП и информационными системами слежения за движением металла в режиме РВ. Такого рода системы предусматриваются практически всеми современными инновационными проектами, однако в используемых публикациях по строительству ЗТБД в Нижнем Тагиле этот вопрос не обсуждается, конкретных данных не содержится, поэтому считаем его находящимся вне рамок настоящего исследования.

2. Использование для частичной компенсации потерь времени при выполнении технологических и транспортных операций возможности работы некоторых мостовых кранов (на участке "Конвертер 2-й стадии" — "Печь-ковш", а также на участке "Вакууматор — МНЛЗ") в двух режимах: нормальном со временем транспорта ковша 10 минут и ускоренном — с выполнением тех же транспортных операций за 8,5 минут. Все приведенные выше расчеты ориентированы на нормальную работу кранов.

В качестве управляющего воздействия примем и исследуем на функционально-управленческой модели следующие меры:

- мостовой кран на участке "Конвертер 2-й стадии" – "Печь-ковш" (инерционная связь на рис. 1 со временем выполнения  $\tau_{c1}$ ) выполняет транспортные операции нормальной продолжительности (10 минут), если выполнение предыдущей технологической операции на конвертере 2-й стадии закончилось вовремя или с отставанием от предусмотренного проектом графика не более 1 минуты. Если предыдущая технологическая операция заканчивается с опозданием в 1 минуту и более по сравнению с проектным графиком работ, эта же крановая операция выполняется в ускоренном режиме с продолжительностью 8,5 минут;

- аналогично мостовой кран на участке "Вакууматор – МНЛЗ" (инерционная связь  $\tau_{c3}$  на рис. 1) выполняет "свою" крановую операцию с нормальной скоростью, т.е. за 10 минут, если предыдущая технологическая операция заканчивается по отношению к проектному графику своевременно или с опозданием не более 2 минут. В противном случае этот кран работает в ускоренном режиме продолжительностью 8,5 минут;

- результаты моделирования работы отделения производства литых заготовок для труб большого диаметра при наличии помех случайного характера приведены на рис. 4. Здесь линия "Краны 1 и 2" соответствует проектному режиму функционирования рассматриваемых кранов, а ломаная линия "Без упр." показывает изменение времени ожидания разливки перед МНЛЗ при работе обоих кранов в нормальном режиме и при наличии помех случайного характера на всех основных агрегатах технологической схемы (точки 8 и 13 на рис. 3 – разрыв струи металла на МНЛЗ), что свидетельствует об относительно высокой вероятности такого события. Для упрощения на рис. 4 по оси ординат указано время ожидания разливки, а время работы кранов приведено со сдвигом вниз на 4 минуты, т.е. на рис. 4 приведены величины  $\tau_{c1} - 4$  и  $\tau_{c3} - 4$ .

Ломаные линии "Кран 1" и "Кран 2" отражают функционирование этих кранов при выполнении ими заданного выше режима перехода с нормальной скорости на ускоренную и обратно, а ломаная линия "С упр" отражает величину времени ожидания разливки стали на МНЛЗ при наличии указанного управления. При этом среднее значение этого времени ожидания составляет 3,1 минуты, все экспериментальные значения находятся в пределах размаха 2,07...4,46 минуты, а 95% доверительный интервал имеет пределы 1,55...4,65 минут, что свидетельствует об отсутствии угрозы разрыва струи, а также об эффективности предложенных организационно-управленческих мер.

*Ро Тэ Кюн – профессор Юханского колледжа (технологического института) (Корея),  
Дьячко Анатолий Григорьевич – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой АСУ,  
Смирнов Олег Михайлович – д-р техн. наук, проф. Государственного технологического университета –  
Московского института стали и сплавов (ГТУ МИСИС).*

*Контактные телефоны: (495) 236-41-03, 236-73-09.  
E-mail: rtk@yahoo.co.kr, olegsmirnov36@mail.ru, agd@mail.ru*

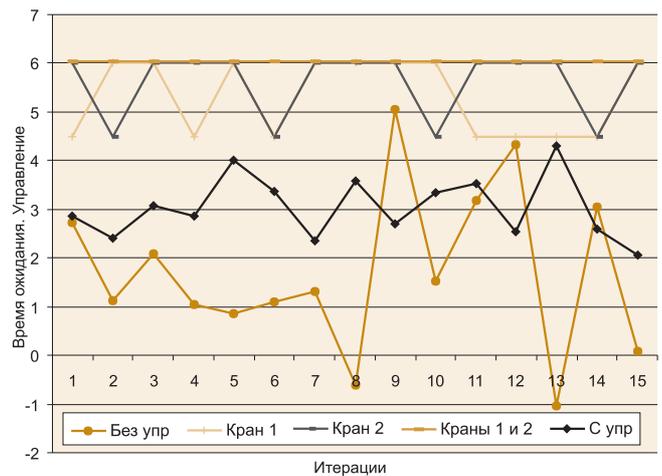


Рис. 4

Таким образом, моделированием в динамике отделения непрерывного литья заготовок по данным инновационного проекта строительства ЗТБД в г. Нижнем Тагиле показано, что при наличии вероятных помех случайного характера на всех основных агрегатах технологической схемы производства возможны опоздания плавки к разливке и нарушения экономически эффективного режима разливки "плавка на плавку". Однако технологические резервы оборудования дают возможность организационно-управленческими мерами в виде управления транспортными операциями предотвратить указанную возможность и обеспечить устойчивую работу исследуемого отделения. Такие меры предложены и динамическим моделированием с использованием функционально-управленческой модели показана их реальность и работоспособность.

#### Список литературы

1. Ро Тэ Кюн, Дьячко А.Г., Смирнов О.М. Методика динамического моделирования предприятий бизнеса и инновационных проектов по их модернизации // Автоматизация в промышленности. 2007. №3.
2. Носов С.К. Инвестиционный проект уникального комплекса по производству широкоформатного толстого листа и труб для магистральных газонефтепроводов // Сталь. 2002. № 3.
3. Носов С.К. Создание в России крупного предприятия ОАО "Завод по производству труб большого диаметра" с участием иностранного капитала и государства // Электрометаллургия. №8. 2001.
4. Носов С.К., Дерябин Ю.А., Смирнов Л.А. и др. Конвертерный передел ванадиевого чугуна // Екатеринбург. Ср.-Уральск. кн. изд. 2000.
5. Носов С.К. Завод по производству труб большого диаметра в Нижнем Тагиле: исправление ошибок прошлого и технологический прорыв в завтрашний день // Эксперт. 2002. № 27