ПРАКТИКА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

DOI: 10.36622/VSTU.2021.23.75.003

УДК 338.585

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗЕРВОВ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Р.Л. Сатановский, Д. Элент

Nuspark Inc.

400 Steeprack Dr., Toronto, Ontario, M3J 2X1, Canada

Введение. Современные предприятия серийного машино- и приборостроения, их цеха и участки характеризуются расширением номенклатуры, высокой скоростью её обновления, развитием цифровизации, совмещением виртуальных процессов с реальными, изменением условий взаимной адаптации производства и продукции, обоснованием снижения потенциальных ошибок и потерь при переходе к лучшему варианту развития и др. Необходимость учета этих факторов объективно обуславливает поиск новых методов повышения эффективности организации действующего производства.

Данные и методы. Представлен комплексный подход к развитию организации серийного производства участков и цехов в условиях цифровизации неразрывно связан с мобилизацией внутренних резервов, моделированием параметров парности, виртуальных кластеров, эмерджентности, упреждения, взаимодействия ресурсов, снижения напряженности, согласования перестройки с подстройкой и др.

Полученные результаты. Рассмотрено использование задач, входящих в концепцию планирования эффективного развития, включающую совокупность логически вытекающих одно из другого решений, которые ассоциируются с применением системы моделей, необходимых пояснений по работе с ними и конкретной последовательности шагов по реализации. В неё включены модели учета упреждения, локальной оптимизации, взаимодействия резервов, кластеризации, сближения виртуальной среды с реальной.

Заключение. Использование рассмотренного подхода и методов оценки перехода от виртуальных кластеров организации к реальному производству в условиях снижения стабильности заказов позволяют в режиме on-line по-новому планировать использование резервов опережающего адаптивного развития эффективной организации производства участков и цехов предприятий. Благодарность проф. В. Димитрову, д-ру А. Бахмутскому и проф. А. Колосову за обсуждение материала статьи

Ключевые слова: виртуальный, кластер, модель, организация, оптимизация, парность, подстройка, перестройка, производство, развитие, резерв, упреждение, участок, эффективность, эмерджентность.

Для цитирования:

Сатановский Р.Л., Элент Д. Эффективное использование резервов опережающего развития организации производства при цифровизации // Организатор производства. 2021. Т.29. № 1. С. 30-43. DOI: 10.36622/VSTU.2021.23.75.003.

Сведения об авторах:

Сатановский Рудольф Львович (rudstanov@yahoo.com), д-р экон. наук, профессор консультант отдела маркетинга. Элент Дан (delent@nuspark.com), руководитель отдела маркетинга.

On authors:

Rudolf L. Stanovski (rudstanov@yahoo.com), Dr. Sci. (Economy), Professor, consultant department of marketing. Dan Elent (delent@nuspark.com), direct department of marketing.

EFFECTIVE USE OF PREVENTIVE DEVELOPMENT RESERVES OF THE PRODUCTION ORGANIZATION DURING DIGITALIZATION

R.L. Satanovsky, D. Yelent

Nuspark Inc.

400 Steeprock Dr., Toronto, Ontario, M3J 2X1, Canada

Introduction Modern enterprises of serial machine-building and instrument-making, their workshops and sections are characterized by: expansion of the nomenclature, high speed of its updating, development of digitalization, combining virtual processes with real ones, changing conditions for mutual adaptation of production and products, justification of reducing potential errors and losses during the transition to the best variant of development, etc. The need to take into account such factors objectively determines the search for new methods to increase the efficiency of organizing existing production.

Data and Methods. An integrated approach to the development of the organization of serial production of sites and workshops in the context of digitalization is presented, which is inextricably linked with the mobilization of internal reserves, modeling of paired parameters, virtual clusters, emergence, anticipation, resource interaction, tension reduction, reconciliation of restructuring with adjustment, etc.

Results Obtained. The use of tasks included in the concept of effective development planning, including a set of decisions that logically follow one from the other, which are associated with the use of a system of models, the necessary explanations for working with them and a specific sequence of steps for implementation, are considered. It includes models: accounting for anticipation, local optimization, interaction of reserves, clustering, convergence of the virtual environment with the real one.

Conclusion. The use of the considered approach and methods for assessing the transition from virtual clusters of an organization to real production in conditions of decreasing order stability allows on-line to plan in a new way the use of the reserves of proactive adaptive development of the effective organization of production of sites and workshops of enterprises

Key words: virtual, cluster, model, organization, optimization, pairing, adjustment, restructuring, production, development, reserve, anticipation, site, efficiency, emergence.

For citation:

Satanovsky R.L., Yelent D. Effective use of preventive development reserves of the production organization during digitalization // Organizer of production. 2021. T. 29. No. 1. С. 30-43. DOI: 10.36622/VSTU.2021.23.75.003.

Введение

Эволюция взглядов на организацию и управление сформировалась под воздействием объективных изменений в мировом общественном развитии. В первой половине прошлого века промышленная революция привела многие страны мира к периоду индустриального развития. Во второй его половине страны-лидеры, занимающие первые места по уровню производительности труда, констатировали начало перехода к эре постиндустриального развития, для которой характерны принципиально новые черты и закономерности. Продолжалось формирование системы взглядов на организацию и управление производством. Развитие получили моделирование, компьютеризация, цифровизация

и др. Разработана парадигма жизнеспособных и развивающихся систем ПЖиРС [1], проверено её использование в условиях производственных систем приборостроения [2].

По результатам дальнейших исследований, сформулированы основные требования по обеспечению роста эффективности предприятий, цехов и участков. К ним относятся : открытость, структуризация, гибкость, согласованность, резервирование, упреждение. Упреждение / опережение, направленное на предупреждение, предотвращение или достижение чего-либо, является неотъемлемой составляющей роста эффективности современного цифровизированного предприятия. Узловые вопросы перехода от пассивной адаптации организации производства

к опережающей активной, рассматриваются в статье.

Предпосылки

Для участков цеха такой переход обусловлен, прежде всего, использованием экономико-математических моделей. Без результатов расчета невозможно количественно обосновать параметры эффективного опережения, непосредственно связанные с теорией и практикой развития современной организации производства (далее просто организация / производство).

Динамика предприятий серийного машино- и приборостроения в настоящем характеризуется:

- дальнейшим увеличением номенклатуры изготавливаемой продукции, снижением серийности и экономических циклов жизни изделий, изменением роли упреждения при взаимной адаптации производства и продукции в условиях цифровизации;

- расширением возможностей совмещения моделирования виртуальных процессов с протекающими в реальном производстве и активным поиском более точных инструментов сближения результатов расчета в 2-х средах;

- минимизацией последствий потенциальных ошибок / потерь при переходе к лучшему варианту, совершенствованием методов управления изменением состояний организации в условиях нарастающей нестабильности внешней среды и др.

Одним из важнейших сигналов о динамике продукции и её нестабильности, становится упреждение, которое обуславливает необходимость соответствующего опережающего развития производства. Успешность реализации такого развития во многом определяется адаптацией.

Адаптация – это способность системы обнаруживать целенаправленное приспособляющееся поведение в сложных средах, а также сам процесс такого приспособления [3]. В системе продукции она проявляется изменением показателей её создания, совершенствования, масштаба выпуска и др., отражающих параметры упреждения. В производственной системе адаптация реализуется, прежде всего, путем изменения её элементов в процессе моделирования параметров структуры, взаимодействия резервов, кластеризации и др., характеризующих

опережающее развитие организации производства (ОРОП).

Цифровизация предприятий создает условия для согласования этих процессов во времени и пространстве на всех уровнях управления. Решение ряда задач их эффективного совмещения рассмотрены далее.

Необходимость выполнения плана при снижении стабильности заказов и программ выпуска обуславливает некоторое принижение роли организации производства в достижении эффективных результатов работы [4]. Её повышению способствует реализация ряда направлений, связанных с:

- обоснованием развития организации и принимаемых решений в диапазоне от локальной оптимизации до виртуальной кластеризации (в границах от подстройки до перестройки);

- доведением комплекса расчетов до участков цеха, где непосредственно создаются затраты и происходит их снижение;

- разработкой и внедрением моделей ОРОП, способствующих в режиме on-line проведению эффективных изменений в цепи “продукция – производство” и др.

Для выполнения поставленных задач рассматривается комплекс моделей, формирующих концепцию ОРОП и эффективной мобилизации внутренних резервов серийного производства участков цеха. Под концепцией понимается совокупность логически вытекающих одно из другого решений, которые ассоциируются с применением системы моделей, необходимых пояснений по их использованию и конкретной последовательности шагов по реализации.

В статье представлен комплекс моделей эффективного использования резервов организации, который включает:

1. Обоснование показателей взаимной адаптации производства и продукции.

2. Расчет параметров локальной оптимизации.

3. Формирование новых целостностей и кластеров.

4. Рост эффективности взаимодействия ресурсов.

5. Реализацию более точного инструментария перехода от виртуальной среды к реальному состоянию производства.

Модели, связанные с оценками организации подразделений и управлением их

изменением при переходе от одного варианта к другому (более эффективному), позволяют системно рассматривать совершенствование состояния организации производства на новом витке её развития.

Под состоянием организации понимаем информацию о её формах и поведении вчера, сегодня и завтра, как реакцию на заданный входной сигнал (упреждение). Расположение при цифровизации упреждения относительно

контура организации производства на рис. 1 отражает:

- его непосредственное влияние на изменение состояния каждого из участков
- необходимость учета в параметрах продукции требований производства, выполнение которых характеризует суть перехода от пассивной адаптации к активному опережающему адаптивному развитию.

Рис. 1. Состояния организации производства
Fig. 1. State of production organization

Модели взаимодействия процессов упреждения продукции и опережающего развития организации производства (ОРОП), рассмотрены ниже.

Известно, что с формулировкой новых целей, задачи выбора путей их решения обретают новое качество. Достижение цели эффективного использования резервов организации, включая их выявление, мобилизацию и задействование, прежде всего, связано с трансформацией апробированных моделей пассивной адаптации

производства участков цеха в модели активной опережающей.

Упреждение и опережение

Изменение параметров продукции (номенклатуры, объема выпуска и др.) обуславливают необходимость процесса планирования опережающего адаптивного развития производства в диапазоне от подстройки до перестройки. В этом процессе в большей или меньшей степени участвуют все элементы системы производства, часть которых представлена на рис.2.

Рис. 2. Тенденции поведения элементов системы производства при изменении его серийности
Fig. 2. Trends in the behavior of elements of the production system when changing its serial production

Вверху показана кривая, которая обобщает тенденции поведения элементов производства. Каждый из них обладает своим потенциалом. При наличии соответствующих моделей можно рассчитать виртуальные параметры потенциала, необходимые ресурсы для превращения его в реальный, время перехода от виртуальной среды к реальному производству и др.

Среди отмеченных на рис.2 элементов производства, наиболее динамичными / мобильными являются организационные. Резервы их потенциала определяются обоснованным изменением:

— организационных нормативов, включающих размеры партий, периодичности их повторения, длительности производственных

циклов, размеры незавершенного производства, групповые комплекты и др.

- величины потерь от простоев рабочих мест, системы их обслуживания, совмещения профессий, корректировки загрузки оборудования, перемещения части и др.

- конструктивно-технологической общности продукции, форм и состояния организации участков, перехода к блочно-модульной структуре и др.

Все изменения прогнозируются в виртуальном и реальном пространстве определенных типов, с которыми связаны потенциальные резервы производства и их использование. Тип производства выделяется по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции. Одним из основных формообразующих показателей, характеризующих тип производства при разном уровне автоматизации, является коэффициент закрепления операций Кзо [4, 5].

Кзо показывает отношение числа всех различных технологических операций (производственных работ), выполненных или подлежащих выполнению подразделением в течение месяца, к числу рабочих мест [6] Кзо.ф.отражает фактическую (существующую) организацию производства, Кзо.пл. – планируемую, Кзо.опт – вариант оптимальной, наиболее эффективной организации с затратами, которые функционально связаны с Кзо. В крупносерийном производстве $3 < \text{Кзо} < 10$, среднесерийном $10 < \text{Кзо} < 30$, мелкосерийном $30 < \text{Кзо} < 40$. Расчетные модели обоснования Кзо.опт и Кзо пл., выявления мобилизации и реализации резервов, представлены далее.

Для оценки влияния упреждения на использование организационных резервов следует ранжировать факторы-аргументы базовой модели локальной оптимизации и выбрать те из них, которые являются определяющими в получении результата.

Учет границ изменений факторов-аргументов во времени является одной из предпосылок успешного решения проблемы. Условия пассивной адаптации приводили к значительному во времени отставанию организационных изменений от динамики параметров продукции. При значительной конструктивно-технологической и организационно-плановой преемственности производства машин и прибо-

ров [7], среднесрочный (тактический) прогноз являлся достаточно информативным при решении задач адаптации.

При оперативном прогнозе на краткосрочный планово-учетный период (ПУП), когда нестабильность от одного ПУП к другому, как правило, выводит изменение параметров каждого из факторов – аргументов за пределы допуска, такой временной лаг по отставанию (Тлаг), связанный с потерями / затратами (Злаг), не допустим. Для его сокращения организация производства должна действовать на опережение, а не просто реагировать на действие внешней / внутренней среды. Расчетные модели в условиях цифровизации позволяют просчитывать обоснование и обеспечение вариантов развития производства в режиме on-line с любой, наперед заданной периодичностью, ориентированной на снижение такого отставания. Подобно системе допусков в технике, без которых невозможно обеспечить взаимосвязь элементов конструкции, допуски в производстве обеспечивают взаимодействие состояний организации и их составляющих. Модель расчета границ допуска дана в [2].

Допуск является определяющим при оценке достоверности показателей производства, включающей точность, надежность, чувствительность и устойчивость [7].

Вне допуска на Кзо невозможно оценить эффективность задействованных резервов в разных состояниях организации, обеспечить переход от подстройки к перестройке, определить вероятностные оценки рисков, возможных потерь, колебание устойчивости производства и др.

Показатели целей (объектов), связанные с опережением, всегда конкретны. Они обусловлены широким спектром решений по изменению конструкции изделий, планов производства, его организации, управления и др. Определяющими факторами отбора и ранжирования показателей являются их чувствительность и устойчивость. Первая определяется оценкой колебаний затрат в поле допуска и за его пределами под влиянием отдельных факторов - аргументов расчетной модели. Вторая – с расположением показателя в том же пространстве под воздействием группы факторов – аргументов [7]. Были отранжированы все 16 показателей базовой модели и выделены четыре, к динамике которых наиболее чувстви-

тельны изменение затрат и на них приходится 77 – 85% оценок устойчивости в границах допуска. К таким показателям организации производства участков механообработки, которые необходимо мониторить в первую очередь, относятся:

R - количество позиций номенклатуры, закрепленной за подразделением

$По$ - число операций / производственных работ одной позиции

$тн$ - трудоемкость производственной работы

$Ря$ – явочное число рабочих /операторов участка.

При пассивной адаптации организации к изменениям внешней среды, производство обязано учитывать изменения в продукции, а последняя, лишь по возможности, отслеживать динамику условий первого [2].

Представленные ранее особенности динамики предприятий, обуславливают необходимость перехода к активному, т.е. опережающему развитию организации в условиях цифровизации, что реально способствует повышению её роли в достижении синергетического эффекта. Открываются новые возможности взаимной адаптации. Расчеты векторов упреждений R , $По$, $тн$, $Ря$ и оценки перспективы их использования, позволяют усилить влияние производства на разработчиков продукции в направлении взаимного согласования интересов и снижения напряженности при изменении плана.

В рассматриваемом контексте усиление влияния ОРАОП на параметры продукции при её создании, освоении и внесении конструктивно-технологических изменений при доработке, становится одним из центральных во взаимной адаптации и отражает переход организации производства в новую фазу своего развития.

Локальная оптимизация

Для успешного согласования процессов упреждения и опережения нужны расчетные модели. На уровне участков серийного производства в основе решения комплекса задач использования резервов лежит базовая модель локальной оптимизации. Её трансформации в модель активной ОРОП обеспечивает выявление потенциала (рис.2), его мобилизацию и реализацию.

Как отмечалось, динамика среды и необходимость адаптации к ней организации производства, обуславливают проведение изменений и моделирование процессов в реальном и виртуальном пространствах [6]. С этой целью в рамках действующего производства при сохранении структуры участков цеха, осуществляется подстройка, связанная с корректировкой их предметной замкнутости, оптимизацией параметров организации, её нормативов и др. Последующая перестройка связана с изменением производственной структуры участков цеха и оптимизацией параметров организации в реальных и виртуальных кластерах [8]. Привязка подстройки к существующей структуре цеха, априори ограничивает число моделируемых вариантов адаптивного развития. Отсутствие такой привязки при перестройке, обеспечивает значительный рост их числа в виртуальной среде.

Сравнение эффективности полученных результатов моделирования в двух средах при условии обязательного выполнения календарно-объемного плана выпуска продукции (КОП) и оптимизации параметров организации, делает их полностью сопоставимыми и легитимными при оценке синергетического эффекта и выборе варианта наиболее экономного расходования ресурсов [7].

В общем случае, когда предприятие и его подразделения производят m видов определенного количества продукции и/или комплектующих. Разница между заказами этого вида R_k и наполнением склада к концу $(k - 1)$ отрезка времени $R_r(k - 1)$, формирует план производства R_{zk} по каждому из m видов [9] т.е.

$$R_{zk} = R_k - R_r(k - 1) \quad (1)$$

Суммирование по всем m определяет план производства на планово-учетный период (ПУП), на протяжении которого условия считаются const.

В конечном счете, изменения показателей продукции на уровне начальных звеньев отражаются в динамике расходов производства $\sum Z_{пр}$, затрат $\sum Z$, стоимости незавершенного производства $\sum H$, ключевого параметра организации производства $K_{зо}$ и др. Для учета последствий такого влияния используется базовая модель локальной оптимизации [2, 9]. Она построена как однопараметрическая, в которой динамика каждого из $\sum Z_{пр} = \sum Z + \sum H$, функционально

зависит от определяющего показателя организации производства участков (K_{30}). Величина $\sum Z$ включает: оплату труда, переналадок, вынужденных простоев, управления и др.

При уменьшении K_{30} (росте серийности, увеличении размеров партий) стоимость запасов незавершенного производства $\sum H$ растет. Вместе с тем снижаются затраты $\sum Z$. Их разнонаправленность позволяет по критерию $Z_{пр.мин}$ находить $K_{30.опт.}$ Схемы расчета для двух участков показаны на вертикальных плоскостях рис.3 (для упрощения $K_{30} = K$). Рассмотрение свойств, отношений и особенностей K_{30} , позволяет использовать его для вскрытия внутренних резервов и обоснования направлений их эффективного использования сегодня и завтра, что неизмеримо важнее простой фиксации существующего состояния.

В данном контексте базовая модель, предназначенная для предприятий серийного машино- и приборостроения [6], становится важнейшей, (наряду с рассматриваемыми другими). Отметим, что модель:

1. используется в многолетней практике серийного производства с 80-х гг.
2. является основой развития опережающей организации производства.
3. обеспечивает системное выполнение расчетов по изменению организационных состояний участков и использованию организационного потенциала производства
4. позволяет определить результаты каждого этапа, оценить эффективность перехода к лучшему варианту развития и др.

Применительно к конкретному участку моделирование с учетом упреждающих параметров среды и откорректированных по ним величин 16 факторов - аргументов модели, обеспечивает определение $Z_{пр.мин}$ и $K_{30.опт.}$, сравнение их с оптимальными в действующих условиях ($Z_{пр.мин.ф.}$ и $K_{30.опт.ф.}$), оценку затрат подстройки и наличие внутренних ресурсов для перехода к новым условиям (при сохранении / изменении структуры) и др. При нахождении $K_{30.опт.}$ на $(k + 1)$ шаге в границах допуска на $K_{30.опт.ф.}$ при (k) -ом, вопрос о смене состояний организации производства вообще не стоит. При выходе за пределы допуска следует оценить организационную устойчивость участков и их адаптивность, под которой понимается способность к самостоятельной

корректировке смены состояний. Мерой организационной устойчивости, позволяющей сравнивать разные участки, может служить коэффициент устойчивости K_u [4], как отношение величины наличных ресурсов ($R_{нал.}$), необходимых для осуществления перехода, к потребным для этого ($R_{потр.}$).

$$K_u = R_{нал.} / R_{потр.} \quad (2)$$

Вопросы устойчивости при $K_u > 1$, обусловленные избыточностью ресурсов, в статье не рассматриваются. Результаты расчетов по базовой модели определяют значения $Z_{пр.мин}$ и составляющие этих затрат (трудовые, материальные), формирующие при $K_{30.опт.ф.}$ и $K_{30.опт.}$ соответствующие $R_{потр.}$ и $R_{нал.}$. Возможности участков в мобилизации внутренних ресурсов (за счет повышения сменности работы, снижения простоев, совмещения профессий, дозагрузки оборудования, изменения периодичности запуска партий и др.) обуславливают величину $R_{нал.}$.

Обобщающая кривая рис.2, характеризующая динамику организационных резервов производства при увеличении K_{30} , отражает тенденции роста $R_{нал.}$ за счет увеличения их мобильности. Становится возможным обоснование уровня устойчивости ΔK_u

$$\Delta K_u = (R_{потр.} - R_{нал.}) / R_{потр.} \quad (3)$$

Как показано далее базовая модель используется не только в оценках состояний организации от подстройки до перестройки, но и перехода от виртуальности к реальности. Обоснование показателей K_u и ΔK_u позволяет: - по модели напряжителя [8], оценивать динамику $R_{потр.}$ на каждый пункт изменения показателей - сравнивать участки между собой для принятия решений по дальнейшему развитию организации их производства.

При отсутствии достаточных собственных ресурсов адаптации ($K_u < 1$), возникает потребность в привлечении дополнительных на основе моделирования их взаимодействия и расчета эффекта эмерджентности.

Взаимодействие резервами

Результаты корректировки блочно-модульной специализации участков цеха, их участия в изменении комплектного незавершенного производства, частичной перестановки оборудования, кооперации резервами и др.,

позволяет реализовать модель расчета эффекта эмерджентности при оптимизации действующих, реальных и виртуальных участков, находящихся в состоянии подстройки и перестройки (рис. 1).

Эмерджентность свидетельствует о наличии у системы цеха целостности (эмерджентных свойств), т.е. таких, которые не присущи составляющим его участкам. При взаимодействии они претерпевают качественные изменения, так что некоторая часть целостной системы становится не тождественна аналогичной, взятой изолированно [8].

Схема моделирования эффекта взаимодействия на основе эмерджентности и получения результирующих величины K_k (планируемого $K_{зо}$ каждого), схематически показана в центре рис.3.

Расчет эффекта эмерджентности включает 3 этапа обоснования [8]:

1. компромисса P в границах допуска mn_k , экономии ΔS - результата использования резервов, оценки параметра K_k

2. частичного консенсуса в H , когда отклонения одного из участков (например, $K'_{зо}$) выходят за границы допуска. Величиной ΔS (на втором и третьем этапах) оценивают снижение производственных затрат, которые отражают результат мобилизации резервов.

3. полного консенсуса, когда результат связан с преодолением последствий нахождения $K_{зо.опт}$ каждого из участков за границами допусков на $K_{зо}$ предшествующего (k) -го шага. Величина ΔS при этом возрастает ещё более.

Процессы эмерджентного управления и обоснования параметров $K_{зо}$ опт., K_k , $Z_{пр.мин.}$, $\Delta S = \Delta S' + \Delta S''$ и др., отражаются на состояниях организации производства. Каждое из них связано с сохранением / отклонением в

границах допуска, а переход от одного к другому – с дополнительными затратами.

Переход от (k) -го варианта к более эффективному $(k + 1)$ не происходит одновременно. Нужно время переходного периода ($T_{пер}$) и дополнительные затраты на его проведение ($Z_{пер}$), которые снижают результат, полученный по расчетной базовой модели. Добавление $Z_{пер}$ в числитель $f(2)$ корректирует значение K_u . Оптимизационные модели, включающие нахождение $T_{пер}$ и $Z_{пер}$ при изменении партионности и серийности, обеспечивающие сопоставимость расчетов, показаны в [10]. Отметим, что $T_{пер}$ и $Z_{пер}$ являются составной частью показателей $T_{лаг}$ и $Z_{лаг}$, связанных с временем отставания (лагом), отмеченным ранее.

Эффект эмерджентности по схеме рис. 3 рассчитывается в P / H относительно локального оптимума каждого участка. Такая последовательность шагов, используемая ниже для определения условий перехода, реализуется при:

- подстройке кооперируемых участков в действующей структуре цеха и планировании реальных кластеров;

- перестройке производственной структуры цеха и обосновании вариантов виртуальных кластеров.

В [10] представлена совокупность задач, которые необходимы, как минимум, для проведения таких расчетов в каждой из сред. Они объединены в четыре группы:

A. Обоснование вариантов развития (10 задач).

B. Достижение планируемых показателей (4).

C. Поддержание стабильности (4).

D. Корректировка при изменении условий среды (2 задачи).

Рис. 3. Схема расчета эффекта эмерджентности
Fig. 3. Scheme for calculating the effect of emergence

Результаты расчетов по комплексу отмеченных моделей, формируют информацию, необходимую для обоснования кластеров организации производства и управления их изменением.

Кластеры

Значительное число публикаций подтверждают высокую эффективность работы промышленных кластеров предприятий развитых стран в разных направлениях [11]. Все более актуальным становится обобщение теории и практики их успешного функционирования в серийном машино- и приборостроении с доведением кластеров до участков, работающих в системе цеха.

В рассматриваемом ниже контексте, кластер — это группа виртуально и реально соседствующих и взаимосвязанных участков (подсистем), действующих в определенной сфере производства, характеризующихся общностью деятельности и взаимодополняющих друг друга [12]. Для взаимодействия и взаимодополнения в работе необходимо, как минимум, участие двух подразделений, образующих пару. В работе [13], где парность исследуется как явление (совокупность процессов) образования новой целостности, доказательно сформулированы основные при-

знаки парности. В качестве парных элементов, как компонентов системы, на одном уровне управления могут быть пары, состоящие из объединений участков. Примером такого кластера в действующем производстве становится объединение усилий участков цеха в условиях эмерджентности, обеспечивающих лучшее использование внутренних резервов.

Организация производства описывается рядом свойств, отношений и параметров. Их совокупность дает систему показателей, характеризующих её, элементы пар в ней, их новую целостность, использование моделей адаптации и др. [8].

Парность как совокупность процессов образования новой целостности можно и нужно моделировать с целью выбора лучшего варианта. В [8] на конкретных примерах показаны результаты моделирования некоторых процессов парности участков, образования их целостности (виртуальной и реальной) в системе цеха, получения дополнительного эффекта за счет её роста и др.

Для того, чтобы быть взаимосвязанными и взаимодополняющими друг друга, участки должны пройти тест на соответствие определенным признакам парности. Интеграция успешно

прошедших тест в систему и моделирование их изменений с учетом эмерджентности и опережения, приносит дополнительный эффект. Основные признаки парности, обоснованные в [13], и уточненные применительно к участкам производства машин и приборов в [8], обеспечивают прохождение теста “парности”. Результаты проверки участков по 6-ти признакам парности, подтверждающие их наличие, говорят о присутствии у них потенции образования новой целостности (кластера). На рис.3 представлена схема обоснования эффекта для одной пары, состоящей из двух участков цеха. Наличие трех и более участков способствует возникновению различного числа парных сочетаний и необходимости отбора наиболее эффективных. В [8] рассмотрена модель образования числа новых пар при разных сочетаниях количества участков. Эффекты эмерджентности на уровнях компромисса и консенсуса, для разных сочетаний, будут отличаться.

Моделирование организации производства в виртуальной среде корреспондируется с решениями в реальной, которые:

- во многом, определяют границы практической потребности в перестройке;
- позволяют рассматривать кластер как одно из состояний ОРОП в реальной и виртуальной средах, непосредственно увязанной с упреждением;
- реализуются на основе использования общей методики и последовательности шагов для сравнения результатов двух сред и решения вопросов перехода из одной в другую.

Такой подход может быть успешно выполнен только в условиях цифровизации производства. Рассмотренные выше модели локальной оптимизации, эмерджентности и кластеризации, позволяют снизить напряженность в принятии решений по управлению сближением двух сред, усиления значимости согласованного упреждения и опережения для повышения роли организации производства и роста эффективности работы предприятий.

От виртуальности к реальности

Цифровизация обуславливает не только расширение использования параметров опережения в развитии организации, необходимых для оценки, сравнения и выбора эффективных вариантов, но и возможности применения более

точных инструментов согласования результатов моделирования двух сред. Реализация такого подхода связана с проведением следующих шагов:

1. Параметризацией показателей упреждения.
2. Расчетом показателей R_{zk} , календарно-объемного плана (КОП), параметров факторов – аргументов базовой модели с учетом упреждения лок.
3. Использованием модели локальной оптимизации для расчетов по выбору вариантов эффективной подстройки организации действующих участков.
4. Моделированием перестройки, определением вариантов развития реальных и виртуальных кластеров, отбором наиболее приемлемых для соотношения с реальными.
5. Использованием рассмотренного выше комплекса моделей для получения средних K_k при КОП и средневзвешенных $K_{k.c.}$, рассчитанных при календарном распределении программы.
6. Оценкой результатов по $Z_{пр}$, K_k , $K_{k.c.}$ и др.
7. Итерационным моделированием разных условий перехода от виртуальных кластеров к реальному производству и выбором наиболее эффективных вариантов опережающего адаптивного развития.

Рассмотрим содержание некоторых шагов подробнее.

В базовой модели локальной оптимизации, её последующей трансформации и распространения, используют календарно-объемные планы производства (КОП) подразделений. Они определяют программу в целом (объем работы, число рабочих мест, количество единиц оборудования и др.). На их основе ведется выбор наиболее экономичных вариантов развития, реализация связей виртуальных кластеров с реальным производством и др. Дальнейший прогресс в этом направлении связан с уточнением инструментария перехода от средних величин параметров к средневзвешенным, обусловленным календарным распределением продукции, соблюдением нормативов эффективной организации, учетом отклонений в плане и др. Результативность использования средневзвешенной ($K_{zo.c.}$) относительно средней (K_{zo}), представлена в [7].

В настоящее время предлагаются различные оптимизационные модели календарного

планирования [14, 15], соотносимые с условиями ф. (1). Например, в [14] представлена модель, в которой целевой функцией календарного распределения становится максимизация комплектности незавершенного производства, а оперативного планирования – минимизация отклонений плановых сроков выполнения операций текущего рабочего дня. Как утверждает её автор, в разработанной им модели формирования месячной поддетальной производственной программы цеху, отражена главная сущность универсальной системы управления динамичным многономенклатурным производством. Эта суть состоит в необходимости планирования восстановления величины и выравнивания комплектности незавершенного производства на всех его стадиях. Следствием такого подхода становится выпуск продукции в установленные сроки при уменьшении отклонений в ходе производства.

Цифровизация предприятий открывает широкие возможности моделирования вариантов календарного плана также в виртуальных кластерах, при котором использование средних величин факторов – аргументов и средневзвешенных, [7], позволяет:

а) рассчитать по величинам K_k участков предварительные значения размеров партий (n), периодичности их повторения (I), длительности производственных циклов изготовления ($T_{ц}$).

Предварительные размеры партий (n) по всей номенклатуре R каждого из участков с числом рабочих мест (операторов) P_a , определяются с учетом t_n , P_o и фонда времени Φ по формуле

$$n = \Phi * P_o / t * K_{zo} \quad (4)$$

б) корректировать предварительные размеры партий (n) до практически приемлемых, обусловленных необходимостью согласования смежных стадий планирования, с принятой периодичностью повторения (I), методами формирования комплектных партий, с габаритными характеристиками и др.

с) выполнить весь комплекс расчетов календарного планирования производства по выбранным вариантам подстройки и перестройки в диапазоне состояний организации от компромисса до консенсуса

д) рассчитать по каждому из состояний средневзвешенные значения $K_{кс}$, которые в

сравнении со средними K_k точнее отражают взаимосвязи участков и условия перехода от виртуальности к реальности.

$K_{кс}$ становятся инструментом снижения напряженности при оценке вариантов перехода [10]. Уровни напряженности характеризуют разрывы между виртуальными и реальными состояниями организации производства участков и рассчитываются по моделям напряжения, аналогично ф. (3) Расчеты в информационном пространстве показывают, что продвижение от виртуального состояния к реальному не может произойти одномоментно. Как отмечалось, нужны дополнительные ресурсы ($Z_{пер}$) и учет времени перехода $T_{пер}$, которое включает периоды интенсивного и экстенсивного расходования средств [7].

Изменение комплектности незавершенного производства при повышении серийности (уменьшении $K_{зо}$) связано с преодолением трудностей по качеству используемых ресурсов (рабочих, оборудования). Когда привлечение дополнительных ресурсов осуществляется за счет собственных резервов участка (расширения числа смен, сверхурочных, совмещения профессий и др.) задача решается сравнительно просто. Сложность нарастает при привлечении сторонних. Когда верхние пороги требований к качеству ресурсов ниже допустимых продукцией, последнюю изготовить качественно невозможно. Получение нужного результата также связано с достижением определенной скорости использования резервов во времени. Недостаточная скорость не позволяет выполнить планируемый объем наличными ресурсами, (как собственными так и привлекаемыми со стороны), обеспечить своевременный переход к реальным условиям работы участка. Обоснование общей (совокупной) трудности перехода, позволяет выбрать лучший вариант развития. Некоторые модели его расчета и преодоления трудностей рассмотрены в [7].

Отмеченные ранее, $T_{лаг}$ и $Z_{лаг}$ включают время и затраты на переход из одного состояния организации в другое, переквалификацию рабочих, применения модельных тренажеров для повышения квалификации специалистов – организаторов определенного уровня [16] и др. Использование информации об ОРОП, получение и реализация которой возможны лишь в условиях цифровизации, позволяет обоснован-

но выбирать наиболее эффективные варианты развития состояний организации серийного производства, выявлять тенденции и управлять их изменением.

Заключение

В статье показаны результаты исследований по мобилизации резервов участков цеха при развитии опережающей организации производства, условий перехода из виртуальной среды в реальную и др. Эффективность моделирования ОРОП в представленной последовательности шагов реализации, определяется возможностью калибровки и оценки результатов для применения в других производственных условиях. Значимость такого подхода увеличивается с ростом нестабильности заказов (R_k) и планов производства (R_{zk}). Становится необходимым принятие оптимальных решений в режиме on-line по опережающей адаптации производства для достижения эффективных результатов.

Представленные в статье ссылки подтверждают продолжение исследований в области развития адаптивной организации производства. Достаточно полный список более чем из 200 источников, в которых отражены результаты исследования этой проблемы, представлен в конце монографии [4].

В ней отмечено, что вопросы методологии своевременного перевода действующей организации в новые состояния остаются пока нерешенным. Объединения усилий многих специалистов и результаты их работы, представленные в журнале “Организатор производства” и др., способствуют разработке концепции ОРОП. Надеемся, реализация методического подхода, рассмотренного в статье применительно к начальному уровню организации производства, успешно трансформируемого в другие, будет способствовать продвижению концепции.

Выводы

1. Использование моделей развития организации серийного производства участков и цехов создает необходимую базу перехода от пассивной адаптации к активной и дальнейшего роста её эффективности за счет использования, в первую очередь, внутренних резервов.

2. При определенных предпосылках системная реализация представленного подхода и расчетных моделей, с учетом упреждения продукции и опережающего развития организации

производства, становится предтечей планирования вариантов более совершенной организации в условиях цифровой экономики.

3. Практическая значимость рассмотренной концепции определяется комплексным решением задач обоснования вариантов развития, их обеспечения, применения организационных нормативов, управлением переходом от виртуальных решений к реальным и др.

4. Модели могут быть востребованы в России, Канаде, США и других развитых странах.

Благодарность проф. В. Димитрову, д-ру А. Бахмутскому и проф. А. Колосову за участие в обсуждении материалов статьи

Библиографический список

1. Gerlovin I. To live without disasters, C-P. 1992, 398 p.
2. Сатановский Р.Л. Методы снижения производственных потерь. М., Экономика, 1988, 302 с.
3. Экономико-математический энциклопедический словарь. М. Большая Российская Энциклопедия. Издат. Дом “ИНФРА-М” 2003.
4. Колосов А.Н. Адаптивная организация деятельности предприятий. Луганск, ВНУ им. Даля, 2008, 440 с.
5. Туровец О.Г., Родионова В.Н., Каблашова И.В. Обеспечение качества организации производственных процессов в условиях управления цифровым производством. // Организатор производства № 4, 2018, с.65–76.
6. Методические указания. ЕСТПП. Выбор оптимальной величины коэффициента закрепления операций K_{zo} для цехов и участков предприятий машино – и приборостроения. Руководящий документ РД 50-174-80. М. Издательство стандартов, 1980, 23 с.
7. Эффективная организация качественно-го производства машин и приборов. Л., Машиностроение Л.О. 1990, 160 с.
8. Сатановский Р. Использование потенциала парности и эффекта эмерджентности в организации производства. // Вестник дома ученых Хайфы. Т44, с.69 – 79.
9. Khrissanoff S. Economic – dynamics . Friessen Press, 2013, 624 p.
10. Сатановский Р.Л., Элент Д. Переходные процессы в эффективной организации

производства. // Организатор производства, № 2, 2020, с. 73 -83.

11. <http://chtooznachaet.ru/klaster.html>).

12. <http://viafuture.ru/privlechenie-investitsij/innovatsionnye-klastery>

13. Бахмутский А. Парность – слово, парность – термин. // Вестник дома ученых Хайфы. Т.31, Хайфа, 2013, с. 21 -26

14. Амелин С.В. Организация производства в машиностроении в условиях цифровой

трансформации // Организатор производства № 1, 2020, с.17-23

15. Hill C.W. Jones G.R. Strategic Management Theory: An Integrated Approach. Stamford, Connecticut: Learning, 2015, 467p.

16. Сатановский Р.Л., Элент Д. Модели адаптивного развития организации серийного производства // Организатор производства. № 4, 2018, с.19-29.

Поступила в редакцию – 01 февраля 2021 г.

Принята в печать – 07 февраля 2021 г.

Bibliography

1. Gerlovin I. To live without disasters, C-P. 1992, 398 p.

2. Satanovsky R.L. Methods for reducing production losses. M., Economics, 1988, 302 p.

3. Economic and mathematical encyclopedic dictionary. M. The Great Russian Encyclopedia. Published. Hous", INFRA-M", 2003.

4. Kolosov A.N. Adaptive organization of enterprise activities. Lugansk, VNU them. Dahl 2008, 440p.

5. Turovets OG, Rodionova VN, Kablashova IV. Ensuring the quality of the organization of production processes in the context of digital production management. // Production organizer No. 4, 2018, pp. 65 – 76

6. Methodical instructions. ECTPP. The choice of the optimal value of the coefficient of securing operations Kzo for the shops and sections of the enterprises of machine and instrument making. RD 50-174-80. M. Publishing house of standards 1980, 23 p.

7. Effective organization of high-quality production of machines and instruments. L., Mechanical engineering L.O. 1990, 160 p.

8. Satanovsky R. Use of the potential of pairing and the effect of emergence in the organization of production. // Bulletin of the House of Scientists of Haifa. T44, p. 69 - 79.

9. Khrissanoff S. Economic – dynamics. Friessen Press, 2013, 624 p.

10. Stanovsky R.L., Elent D. Transient processes in the efficient organization of production. // Production organizer, No. 2, 2020, p. 73-83

11. <http://chtooznachaet.ru/klaster.html>).

12. <http://viafuture.ru/privlechenie-investitsij/innovatsionnye-klastery>

13. Bakhmutsky A. Pairing is a word, pairing is a term. Herald of the House of Scholars of Haifa. Vol. 31, Haifa, 2013, p. 21-26

14. Amelin S.V. Organization of production in mechanical engineering in the context of digital transformation // Production organizer No. 1, 2020, p. 17-23

15. Hill C.W., Jones G.R. Strategic Management Theory: An Integrated Approach

16. Satanovsky R.L., Elent D. Models of adaptive development of the organization of serial production // Production organizer. No. 4, 2018, pp. 19-29.

Received – 01 February 2021

Accepted for publication – 07 February 2021