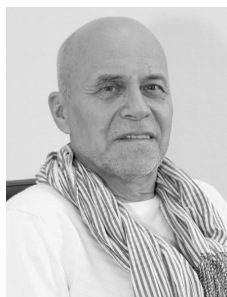


# Математическое моделирование процессов формирования организационно-управленческих инноваций высокотехнологичного предприятия



**В. В. Баранов,**  
д. э. н., профессор,  
зав. кафедрой  
Yar.baranow@gmail.com



**Рустам Сулейман оглы Алиев**  
к. т. н., доцент,  
Yar.baranow@gmail.com



**И. В. Баранова,**  
к. э. н., зав. лабораторией  
Yar.baranow@gmail.com

**Кафедра управления и информатики в технических системах,  
ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»**

*В статье описана постановка задачи моделирования оптимального состава высокоавтоматизированных производственных звеньев. Предложен алгоритм создания высокоавтоматизированных производственных структур. Разработан вычислительный механизм реализации алгоритма создания высокоавтоматизированных производственных звеньев. Предложены модели управления процессами освоения производственных мощностей высокоавтоматизированных звеньев.*

**Ключевые слова:** высокотехнологичное предприятие, математическое моделирование, организационно-управленческие инновации, высокоавтоматизированное производственное звено.

## Введение

В условиях новой индустриализации российской промышленности и ее перехода на инновационные факторы развития ключевым элементом макроэкономической системы должны стать высокотехнологичные предприятия. Эти предприятия в процессе своей деятельности используют производственные системы, ориентированные на гибкую автоматизацию производства, создают и реализуют инновационные технологии, выпускают конкурентоспособную на мировом рынке продукцию. Такая стратегия приводит к тому, что в системе управления высокотехнологичным предприятием начинает доминировать инновационная подсистема [8]. Основу подобной подсистемы составляют технологические инновации, которые генерируют появление организационно-управленческих, ресурсных, финансово-экономических и других видов инноваций.

Новые технологии, используемые высокотехнологичным предприятием, как правило, патентуются и отражаются в составе имущественного потенциала предприятия, как нематериальные активы [2]. Подобные технологии, приобретая форму технологического капитала, дают импульс развитию инновационных процессов, в частности, процессам формирования новых организационно-производственных структур.

Это приводит к появлению в составе имущественного потенциала высокотехнологичного предприятия не только современных основных средств, но и организационно-управленческих инноваций, существующих в виде совокупности моделей и методик построения высокоавтоматизированных структур.

Таким образом, технологический капитал генерирует способность высокотехнологичного предприятия использовать рациональные способы организации производственных процессов на основе оптимального сочетания различных составляющих капитала (финансового, интеллектуального и т. д.) [6]. В свою очередь технологический капитал предприятия, выступая в виде различных объектов интеллектуальной собственности (запатентованных технологий, уникальных ноу-хау и т. д.), активизирует организационно-экономические взаимосвязи, как на уровне высокотехнологичного предприятия в целом, так и на уровне отдельных его организационных звеньев.

## 1. Постановка задачи моделирования оптимального состава высокоавтоматизированных производственных звеньев

Учитывая значимость инновационной подсистемы и сформированного на ее основе технологического капитала, возникает задача моделирования оптималь-

ного состава производственных звеньев высокотехнологического предприятия. Формирование подобных звеньев предполагает введение в их состав высокоавтоматизированного оборудования и промышленных роботов, которые выполняют функции транспортно-передаточных устройств. В результате проектирования создается производственный потенциал высокотехнологического предприятия. Этот потенциал, охватывая совокупность основных средств, нематериальных активов, организационно-управленческих инноваций и ряд других элементов, характеризуется величиной производственных мощностей, т. е. максимальной способностью высокоавтоматизированных звеньев выполнить заданную производственную программу [9].

В создаваемых высокоавтоматизированных системах возникает задача обслуживания роботом нескольких параллельно работающих единиц технологического оборудования. Причем за каждой из этих единиц на определенный интервал времени закреплено выполнение одной операции. Для удобства математического моделирования будем рассматривать оборудование, выполняющие механообрабатывающие операции. Для выполняемой в высокоавтоматизированном производственном звене  $j$ -й единицей технологического оборудования операции устанавливаются соответствующие временные параметры. Такими параметрами являются:

- вспомогательное время ( $t_j^3$ ), т. е. время обслуживания роботом  $j$ -й единицы оборудования;
- время автоматической работы  $j$ -й единицы оборудования ( $t_j^a$ );
- оперативное время выполнения  $j$ -й операции ( $t_j^{on}$ ), величина которого составит  $t_j^{on} = t_j^a + t_j^3$ .

Задачу моделирования оптимального состава высокоавтоматизированной производственной системы сформулируем следующим образом. Требуется создать совокупность высокоавтоматизированных производственных звеньев, подобрав для каждого звена такое число единиц технологического оборудования, чтобы за время автоматической работы любой единицы оборудования робот мог обслужить все остальные единицы, входящие в сформированный комплект оборудования.

Таким образом, результат решения сформулированной нами задачи означает такую организацию производственного процесса, в условиях которой при обслуживании роботом технологического оборудования обеспечивается минимальное время простоя оборудования и максимальный коэффициент загрузки работа. Следовательно, для любой технологической операции, выполняемой в высокоавтоматизированном производственном звене (роботизированном комплексе), должно выполняться следующее соотношение:

$$t_j^a \geq T^3 - t_j^3,$$

где  $T^3$  — суммарное время занятости робота в цикле обслуживания оборудования.

Это время определяется, исходя из следующей модели:

$$T^3 = \sum_{j=1}^c T_j^3,$$

где  $c$  — количество оборудования, входящего в высокоавтоматизированное производственное звено, которое обслуживается одним роботом.

Высокий коэффициент загрузки робота при обслуживании технологического оборудования является необходимым условием для обеспечения бесперебойной работы оборудования, включенного в состав высокоавтоматизированной производственной структуры [5]. Однако подобное условие не является достаточным. Формулировка достаточного условия обеспечения бесперебойной работы высокоавтоматизированного производственного звена связана с установлением ограничений на значения величин  $t_j^{on}$ .

Будем считать, что в гибкой производственной системе, из элементов которой формируются высокоавтоматизированные производственные звенья, выполняются пропорциональные операции, т. е. операции, для которых выполняется соотношение  $t_j^{on} = A_j d$ , где  $A_j$  — натуральные числа;  $d$  — минимальное оперативное время из всей совокупности операций, выполняемых оборудованием, входящим в сформированный комплект.

В случае выполнения в высокоавтоматизированном производственном звене пропорциональных операций можно аналитически определить значение того минимального интервала времени, в течение которого обслуживание всех единиц технологического оборудования, входящего в комплект, повторяется в одинаковом порядке. Этот интервал времени будет представлять собой цикл обслуживания роботом технологического оборудования высокоавтоматизированного производственного звена. При пропорциональных операциях продолжительность цикла обслуживания роботом оборудования в сформированном высокоавтоматизированном производственном звене рассчитывается следующим образом:

$$T_{ц} = Q d,$$

где  $Q$  — наименьшее общее кратное коэффициентов  $A_j$ .

За время цикла обслуживания роботом технологического оборудования число выполнений  $j$ -й операции составит  $Q/A_j$  раз. При этом, выполняя  $j$ -ю операцию, робот затрачивает время  $t_j^3$ . Следовательно, коэффициент загрузки робота составит:

$$k_p^3 = \frac{Q \sum_j (t_j^3/A_j)}{t_{ц}} = \frac{1}{d} \sum_j (t_j^3/A_j).$$

Используя полученные нами результаты организации производственного процесса, состоящего из пропорциональных операций, можно построить ряд приближенных алгоритмов создания высокоавтоматизированных производственных структур (роботизированных комплектов).

## 2. Алгоритм создания высокоавтоматизированных производственных структур

Задача организации бесперебойного обслуживания промышленным роботом технологического оборудования при проектировании подобных структур и в процессе их эксплуатации формулируется по-разному.

На этапе проектирования требуется найти оптимальное разбиение всего множества технологического оборудования гибкой производственной системы на высокоавтоматизированные производственные звенья (комплекты), таким образом, чтобы каждый из этих комплектов обслуживался одним роботом. В процессе эксплуатации высокоавтоматизированных производственных структур решение задачи состоит в оптимальном закреплении операций за существующими звеньями на планируемый период времени.

В том и другом случае следует рассматривать взаимозаменяемые по отношению к выполняемым операциям единицы технологического оборудования [10]. Если это условие соблюдается не для всех единиц производственной системы, то задачу оптимизации состава высокоавтоматизированных производственных структур следует решать по отношению к каждой из групп взаимозаменяемого оборудования в отдельности.

При постановке задачи оптимизации состава высокоавтоматизированных производственных структур следует учитывать, что некоторые типы промышленных роботов, являясь стационарными, не обладают свободой перемещения. Поэтому для стационарных роботов следует ввести ограничение на количество технологического оборудования, находящегося в зоне обслуживания робота.

Следовательно, задача оптимизации состава высокоавтоматизированных производственных структур усложняется. Это связано с тем обстоятельством, что планируемый объем выпуска по некоторым операциям может не обеспечить полной загрузки оборудования. Поэтому для каждой технологической операции кроме величин  $t_j^{оп}$  и  $t_j^3$  необходимо задать планируемый коэффициент загрузки оборудования, выполняющего эту операцию ( $K_j^3$ ).

Тогда задача оптимизации состава высокоавтоматизированных производственных структур путем разбиения взаимозаменяемого оборудования гибкой производственной системы на роботизированные производственные звенья на этапе проектирования может быть сформулирована следующим образом. Во-первых, должно быть известно количество единиц технологического оборудования ( $M$ ). За каждой из этих единиц закреплено выполнение  $j$ -й операции с известными значениями величин  $t_j^{оп}$ ,  $t_j^3$  и  $K_j^3$ . Во-вторых, должно быть определено максимально допустимое количество оборудования ( $r$ ), которое может находиться в зоне обслуживания каждого робота (для робота с неограниченной зоной обслуживания можно предположить, что  $r=M$ ).

В результате решения задачи требуется найти вариант разбиения заданного множества оборудования на высокоавтоматизированные производственные звенья (комплекты), обеспечивающий оптимум выбранной целевой функции. Этот оптимум определяется при условии, что фактический коэффициент загрузки  $j$ -ой единицы оборудования ( $k_j^3$ ) при работе в высокоавтоматизированном производственном звене (роботизированном комплекте) удовлетворяет неравенству следующего вида:

$$K_j^3 \leq k_j^3 \leq K_j^3 + \Sigma,$$

где  $\Sigma$  - заданная величина отклонения фактического коэффициента загрузки от планируемого значения.

В качестве целевой функции эффективности целесообразно выбрать функцию, обеспечивающую максимальное значение чистого дисконтированного дохода (Net Present Value – NPV) или внутренней нормы рентабельности (Internal Rate of Return – IRR) на интервале жизненного цикла проекта создания высокоавтоматизированных производственных звеньев. Кроме этих функций можно использовать функцию, минимизирующую совокупность интегральных затрат (инвестиционных и текущих) на интервале жизненного цикла реализуемого проекта. Подобные затраты связаны с приобретением и использованием элементов проектируемых производственных звеньев (оборудования, робототехники, распределенных информационных систем, транспортно-накопительных устройств и т. д.).

В процессе эксплуатации сформированных высокоавтоматизированных производственных звеньев формулировка задачи приобретает другой вид. В этом случае должны быть известны количество сформированных высокоавтоматизированных производственных звеньев ( $N$ ) и число операций ( $M$ ), подлежащих выполнению в планируемом периоде. Эти операции характеризуются теми же, параметрами что и в предыдущем случае. Причем величина  $M$  не должна превышать значение суммарного числа технологического оборудования гибкой производственной системы, т. е. оборудования, входящего во все высокоавтоматизированные производственные звенья (сформированные нами комплекты).

В результате решения данной задачи требуется закрепить операции за высокоавтоматизированными производственными звеньями таким образом, чтобы обеспечить минимум текущих затрат на содержание и эксплуатацию сформированных комплектов. При этом требования к величине фактического коэффициента загрузки  $j$ -й единицы оборудования ( $k_j^3$ ) остаются теми же, что и в предыдущем случае. Эти требования формализуют условия обязательного выполнения высокотехнологичным предприятием планируемой производственной программы.

Сформулированные варианты задач, решаемых в рамках оптимизации состава высокоавтоматизированных производственных звеньев, представляют собой комбинаторные задачи. Точное решение подобного класса задач можно получить двумя способами. Первый способ предполагает полный перебор возможных вариантов включения оборудования в высокоавтоматизированные производственные звенья (роботизированные комплекты). Второй вариант связан с проектированием возможных вариантов закрепления операций за технологическим оборудованием высокоавтоматизированных производственных звеньев. При достаточно большом количестве технологического оборудования, входящего в состав гибкой производственной системы, такие задачи относятся к классу комбинаторных задач, решение которых занимает существенное время. Поэтому для менеджмента высокотехнологичного предприятия практический интерес представляет разработка приближенных методов решения.

В статье предлагается разработанный авторами приближенный метод решения подобных задач. Алгоритм основан на том, что заданы  $M$  операций, каждая из которых характеризуется параметрами  $t_j^{оп}$ ,  $t_j^3$  и  $K_j^3$ . Допустимое превышение фактического коэффициента загрузки технологического оборудования по отношению к планируемой величине не превышает заранее заданного значения ( $\Sigma$ ). Заданное количество операций требуется закрепить за высокоавтоматизированными производственными звеньями таким образом, чтобы в каждом звене осуществлялось бесперебойное обслуживание роботом оборудования. При этом распределение операций должно осуществляться таким образом, чтобы фактические коэффициенты загрузки каждой единицы оборудования были не меньше планируемых (расчетных) коэффициентов, отличались от них не больше чем на величину заранее заданного значения ( $\Sigma$ ).

Предложенный нами алгоритм, укрупненная блок-схема которого представлена на рисунке, включает в себя следующую последовательность шагов.

Шаг 1: для каждой  $j$ -й операции рассчитывается период повторяемости ( $\tau_j$ ), т. е. временной интервал, при котором коэффициент загрузки оборудования, выполняющего эту операцию (с точностью до округления результата деления), равен  $K_j^3$ . Подобный расчет предполагает определение целой части величин  $t_j^{оп}$ .

Шаг 2: из совокупности рассчитанных величин периода повторяемости выбирается минимальное значение ( $d$ ).

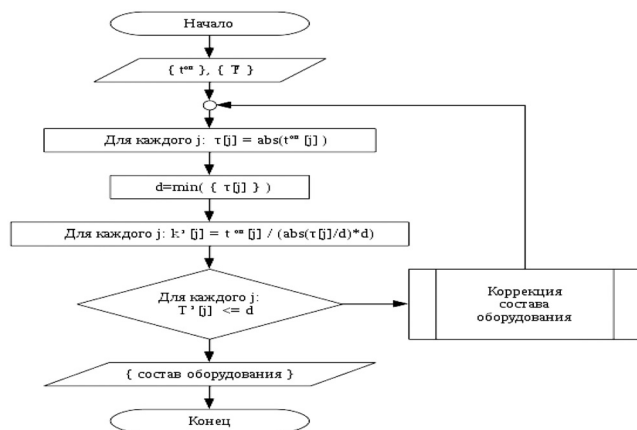
Шаг 3: рассчитывается фактический коэффициент загрузки оборудования, выполняющего  $j$ -ю операцию. Для расчета используется формула:

$$k_j^3 = t_j^{оп} / (A_j d),$$

в которой величина  $A_j$  выбирается как целая часть отношения  $\tau_j / d$ .

При этом следует учитывать, что технологическая операция может быть выполнена в сформированном комплекте при условии, что фактический коэффициент загрузки  $j$ -й единицы оборудования ( $k_j^3$ ) находится в пределах допустимого отклонения от значения планируемого коэффициента загрузки ( $K_j^3$ ).

Шаг 4: выполняется окончательная проверка допустимости выбора комплекта оборудования для высокоавтоматизированного производственного звена.



Укрупненная блок-схема алгоритма

Эта проверка состоит в контроле основного условия организации бесперебойного обслуживания роботом оборудования, т. е. в соблюдении равенства следующего вида:  $T^3=d$ .

Шаг 5: коррекция количества единиц оборудования, входящего в состав высокоавтоматизированного производственного звена (роботизированного комплекта).

Коррекция предполагает уменьшения количества единиц оборудования, входящего в состав высокоавтоматизированного производственного звена, и осуществляется в двух случаях. Во-первых, в случае, если на предыдущем шаге алгоритма получается, что  $T^3 > d$ , а во-вторых, если количество технологического оборудования в комплекте превышает допустимое количество единиц оборудования, которое может находиться в зоне обслуживания робота.

### 3. Вычислительный механизм реализации алгоритма создания высокоавтоматизированных производственных звеньев

Для реализации описанного алгоритма можно построить соответствующий вычислительный механизм [3]. При создании такого механизма задача разбиения заданного множества технологического оборудования на высокоавтоматизированные производственные звенья (роботизированные комплекты) заменяется задачей последовательного их выделения. Этот механизм реализуется в следующей последовательности:

Шаг 1: для каждой  $j$ -й операции рассчитывается период ее повторения  $\tau_j$ .

Шаг 2: технологические операции упорядочиваются в соответствии с возрастанием  $\tau_j$ .

Шаг 3: реализуется процесс формирования высокоавтоматизированных производственных звеньев (роботизированных комплектов).

При этом в качестве параметра  $d$ , следует использовать значение  $\tau_j$  для первой в последовательности операции. Далее к выбранной операции добавляются другие операции. При формировании множества операций учитывается ряд параметров, включая:

- выполнение условия пропорциональности операций;
- допустимость величины фактического коэффициента загрузки оборудования, выполняющего  $j$ -ю операцию ( $k_j^3$ );
- ограничения по количеству технологического оборудования, которое может находиться в зоне обслуживания робота.

Очевидно, что величина отклонения фактического коэффициента загрузки  $j$ -й единицы оборудования ( $k_j^3$ ) от значения планируемого коэффициента загрузки ( $K_j^3$ ) влияет на формирование множества операций, выполняемых на оборудовании, включаемом в состав высокоавтоматизированных производственных звеньев (роботизированных комплектов). Путем вариации данного параметра в некоторых пределах, допустимых с точки зрения заданных условий проектирования этих звеньев, можно получить различные варианты организации бесперебойного обслуживания роботом оборудования. Каждому из таких вариантов будет со-

ответствовать определенное значение выбранной при постановке задачи целевой функции эффективности. Выбор варианта, обеспечивающего значение, близкое к оптимуму целевой функции, позволяет говорить о квазиоптимальном характере предлагаемого в статье приближенного метода.

Алгоритм решения задачи закрепления операций за технологическим оборудованием при эксплуатации высокоавтоматизированных производственных звеньев (роботизированных комплектов) аналогичен рассмотренному алгоритму. Фактическое количество единиц технологического оборудования, включенного в состав различных высокоавтоматизированных производственных звеньев (роботизированных комплектов) выступает как ограничение на количество этого оборудования, находящегося в зоне обслуживания робота. Квазиоптимизация решения достигается на множестве допустимых решений, генерируемом посредством вариации величины отклонения фактического коэффициента загрузки  $j$ -й единицы оборудования ( $k_j^3$ ) от значения планируемого коэффициента загрузки ( $K_j^3$ ) в пределах от 0 до максимально допустимого значения.

Существенное отличие данного алгоритма от ранее рассмотренного состоит в том, что ввиду заранее заданного количества высокоавтоматизированных производственных звеньев (роботизированных комплектов), множество допустимых решений может оказаться пустым. Такая ситуация возможна даже в том случае, когда число выполняемых операций меньше количества единиц технологического оборудования. Тогда получение хотя бы одного допустимого решения задачи будет связано с изменением исходных данных. Это изменение может касаться ряда параметров, включая состав технологических операций, производственную программу, планируемый коэффициент загрузки оборудования и т. д. Подобные изменения диктуют необходимость управления процессами освоения производственных мощностей, созданных в результате проектирования высокоавтоматизированных звеньев.

**4. Управления процессами освоения производственных мощностей высокоавтоматизированных звеньев**

Процесс освоения охватывает совокупность мероприятий, обеспечивающих выход высокоавтоматизированных производственных звеньев на максимальные объемы выпуска продуктовых инноваций [10].

Будем считать, что на этапе моделирования количество созданных нами высокоавтоматизированных звеньев составляет  $I$ , а планируемая величина производственных мощностей  $i$ -го звена составляет  $X_i$ . Созданные производственные мощности обеспечивают объем выпуска продуктовых инноваций в  $i$ -м звене в размере  $Y_i(t)$ . В рассматриваемом временном интервале ( $T$ ) происходит освоение созданных производственных мощностей, и к концу этого интервала величина  $Y_i(t)$  достигает значения  $X_i$ . Тогда фактическое использование производственных мощностей высокоавтоматизированной структуры описывается неравенством следующего вида  $Y_i(t) \leq X_i$ . При этом

коэффициент загрузки производственных мощностей  $i$ -го высокоавтоматизированного звена составит:

$$k_i^3 = Y_i(t)/X_i$$

Сделаем предположение, что в рассматриваемом временном интервале ( $T$ ) прирост объемов выпуска продуктовых инноваций пропорционален недоиспользованной мощности, т. е.

$$\Delta Y_i(t) = 1/T [(X_i - Y_i(t)) \Delta t,$$

$$\text{или } \partial Y_i / \partial t = [(X_i - Y_i(t)) / T]$$

Тогда процесс освоения производственной мощности  $i$ -го высокоавтоматизированного звена может быть описан неоднородным уравнением следующего вида:

$$X_i = T \partial Y_i / \partial t + Y_i(t),$$

при условии, что  $Y_i(0) = Y_{0i}$  и  $Y_{0i} < X_i$ .

Общее решение этого уравнения представляет собой сумму общего решения однородного и частного решения неоднородного уравнений.

Общее решение однородного уравнения

$$T \partial Y_i / \partial t + Y_i(t) = 0$$

имеет следующий вид  $Y_i(t) = C \exp(\lambda t)$ .

Следовательно,  $(T\lambda + 1) Y_i(t) = 0$ , поскольку  $Y_i(t) \neq 0$ , то  $(T\lambda + 1) = 0$ , т. е.  $\lambda = -1/T$ .

Частным решением неоднородного уравнения, описывающего производственную мощность высокоавтоматизированного производственного звена, является  $Y_i(t) = X_i$ .

Тогда общее решение этого уравнения имеет следующий вид:

$$X_i = Y_i(t) - C \exp(-1/T).$$

Из начального условия  $Y_i(0) = Y_{0i}$  следует, что:

$$X_i = Y_i(0) - C = Y_{0i}, \quad C = Y_i(0) - X_i$$

Окончательно имеем, что

$$X_i = [Y_i(t) - Y_{0i} \exp(-1/T)] / (1 - \exp(-1/T))$$

$$\text{или } Y_i(t) = X_i + (Y_{0i} - X_i) \exp(-1/T).$$

Полученные выражения описывают переходный процесс освоения производственных мощностей высокоавтоматизированного звена. Этот процесс завершается выходом на заданную мощность, т. е.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Y_i(t) = X_i$$

при  $Y_{0i} = 0$  решение примет вид

$$X_i = Y_i(t) / (1 - \exp(-1/T)).$$

Для реализации предлагаемого в статье алгоритма авторами был разработан программный комплекс.

Этот комплекс включает в себя базовый естественно развиваемый императивный язык, который является языком программирования высокого уровня, и среды разработки исходных кодов на этом языке. Созданный язык высокого уровня реализует фундаментальные концепции индустрии информационных технологий, включая такие парадигмы, как конкатенативная, объектно-ориентированная, функциональная парадигмы, а также новейшие тенденции разработки языков высокого уровня (многозначная логика, функциональная чистота, сопоставление с образцом, прозрачная многопоточность, стражи параметров), органически сочетая эти особенности в рамках интуитивно понятного и лаконичного синтаксиса.

Макетная реализация предложенного в статье алгоритма на языке программирования высокого уровня демонстрирует высокую робастность данной модели, что позволяет снизить требования к качеству исходных данных. Такая особенность важна с точки зрения практического внедрения метода в рамках существующих и вновь разрабатываемых систем управления ресурсами высокотехнологичных предприятий. Для разработанного нами базового естественно развиваемого императивного языка высокого уровня характерно сочетание постфиксной и инфиксной нотаций. Это оптимальным образом соответствует потоковому характеру вычислительного процесса в предлагаемой модели.

### Заключение

Результатом моделирования высокоавтоматизированных производственных звеньев выступает, во-первых, оптимальный состав основного и вспомогательного оборудования создаваемого звена, а во-вторых, появление в структуре инновационной подсистемы высокотехнологичного предприятия организационно-управленческих инноваций. Подобные инновации, отражая процессы организации роботизированного производства, управления освоением созданных производственных мощностей высокоавтоматизированных звеньев, выступают в качестве интеллектуальных активов, отражаются в составе деловой репутации высокотехнологичного предприятия [7] и увеличивают его имущественный потенциал.

Автоматизируя вычислительные процессы выбора состава высокоавтоматизированных производственных звеньев, высокотехнологичное предприятие формирует не только совокупность организационно-управленческих инноваций, но и информационные активы и капитал [1]. Информационная составляющая интеллектуального капитала высокотехнологичного предприятия охватывает ту часть нематериальных активов, источником формирования которых выступают информационные технологии.

Таким образом, на уровне высокотехнологичного предприятия возникает задача интеграции информационных технологий в деятельность предприятия. Подобная интеграция приводит к превращению этих технологий в информационный капитал. На идее интеграции различных составляющих капитала в единую систему базируется концепция цифрового производства [4]. Основу концепции составляет раз-

работка информационной модели высокотехнологичного производства, охватывающего технологические, ресурсные, организационно-управленческие и другие виды инноваций, а также инструменты и технологии инфокоммуникационного обеспечения этого производства.

### Список использованных источников

1. Андреев В. Н., Конончук Т. В. Информационный капитал промышленного предприятия: идентификация категории, проблемы управления в условиях импортозамещения // Вестник МГТУ «Станкин», 2015. № 2 (33). С. 130-135.
2. Волкова Г. Л. Роль нематериальных ресурсов в обеспечении инновационного развития предприятия // Вестник МГТУ «Станкин». 2013. № 3 (26). С. 118-121.
3. Грешилов А. А. Математические методы принятия решений: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 647 с.
4. Григорьев С. Н., Кутин А. А., Долгов В. А. Принципы построения цифровых производств в машиностроении // Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 4 (31). С. 10-15.
5. Егоров С. Б. Инновационный учебно-производственный комплекс на основе современного технологического оборудования с ЧПУ и интегрированной системы подготовки производства в области механообработки // Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 3 (30). С. 31-34.
6. Еленева Ю. Я., Андреев В. Н. Задачи и основные направления реализации государственной промышленной политики // Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 4 (35). С. 142-146.
7. Интеллект современного предприятия / С. Д. Николаев, А. В. Зайцев, В. В. Баранов, Й. Крафт. М.: ИД «Комсомольская правда», 2010. – 252 с.
8. Лаврищева Е. Е. Поддержка инновационной модели развития предприятий в условиях импортозамещения // Вестник МГТУ «Станкин», 2015. № 4 (35). С. 164-166.
9. Лукина С. В. Методика оптимизации производственной деятельности промышленного предприятия на основе комплекса прогностических моделей формирования и выбора проектных инновационных решений в области высокотехнологичных производств // Вестник МГТУ «Станкин». 2015. № 1 (32). С. 125-129.
10. Математические методы принятия решений в экономике: Учебник / Под ред. В. А. Колемаева – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Финстатинформ, 2014. – 647 с.
11. Еленева Ю. Я., Олейник А. В., Андреев В. Н. Технологический капитал: критерий инновационного развития и объект трансфера в современной экономике // Вестник МГТУ Станкин. 2013. № 4 (27). С. 127-131.

### Mathematical modeling of processes of formation of organizational and managerial innovations high-tech enterprises

**V. V. Baranov**, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of Sub-department «Control and Informatics in Technical Systems», MSTU «STANKIN»

**R. S. Aliyev**, PhD of Technical Sciences, Assistant professor of Sub-department «Control and Informatics in Technical Systems», MSTU «STANKIN»

**I. V. Baranova**, PhD in Economics, Sub-department «Control and Informatics in Technical Systems», MSTU «STANKIN»

The article describes the formulation of the problem of modeling the optimal composition of highly automated production units. An algorithm for the creation of highly productive structures. A computational algorithm implementation mechanism of creating highly automated production units. Proposed process control model of development of production capacities highly automated units.

**Keywords:** high-tech enterprise, math modeling, organizational and managerial innovation, highly automated manufacturing unit.