

Стратегическое планирование научно-технологической и технической подготовки авиадвигателестроительного производства в условиях цифровизации АСНИ и АСТПП

Long-term planning for technical science research and production preparation in terms of digitalization

doi 10.26310/2071-3010.2020.266.12.006



С. Г. Селиванов,
д. т. н., профессор
✉ s.g.selivanov@mail.ru

S. G. Selivanov,
doctor of technical sciences,
professor



А. Ф. Шайхулова,
к. т. н., доцент
✉ shaihulova@inbox.ru

A. F. Shayhulova,
PhD, associate professor



О. А. Гаврилова,
к. т. н., доцент
✉

O. A. Gavrilova
PhD, associate professor

Кафедра технологии машиностроения, Уфимский государственный технический университет
Department of mechanical engineering technology, Ufa state technical university

В статье рассматриваются вопросы стратегического управления и планирования процессов научной-технологической и технической подготовки производства. Приводятся модели машинного обучения, которые могут быть полезны для моделирования процессов не только разработки высоких и критических технологий, но и для освоения этих технологий на производстве. Показано, как эти модели могут быть использованы для имитационного моделирования и управления указанными процессами. Статья актуальна в виду необходимости не только автоматизации, но цифровизации указанных процессов в целях увеличения не только скорости реагирования систем АСНИ и АСТПП, но и повышения их гибкости и точности в условиях неопределенности.

The article deals with the issues of strategic management and scientific, technological and technical production preparation processes planning. Presented machine learning models can be useful for modeling processes not only for the development of high and critical technologies, but also for mastering these technologies in production. It is shown how these models can be used for simulation and control of these processes. The article is relevant in view of the need not only for automation, but for the digitalization of these processes to increase not only the speed of response of the ASNI and ASTPP systems, but also to increase their flexibility and accuracy in conditions of uncertainty.

Ключевые слова: АСТПП, АСНИ, высокие и критические технологии, подготовка производства, управление системами, анализ данных, регрессионные модели, машинное обучение, глубокое обучение, имитационное моделирование.

Keywords: ASTPP, ASNI, high and critical technologies, production preparation, systems management, data analysis, regression models, machine learning, deep learning, simulation.

Введение

На сегодняшний день чрезвычайно актуальными являются вопросы цифровизации на всех этапах и стадиях жизненного цикла инновации. Под цифровизацией в данном случае понимают возможности не только гибкого управления сложными системами (АСНИ — автоматизированные системы научных исследований, АСТПП — автоматизированные системы технической подготовки производства), но прежде всего возможности имитационного моделирования с целью долгосрочного планирования развития этих систем. Поясним сказанное. На рис. 1 показана диаграмма жизненного цикла инноваций.

На всех этапах и стадиях используются соответственно системы, относящиеся либо к АСНИ, либо к АСТПП. Очевидно, что процессы возникновения новой технологии, ее диффузии и освоения, построения на ее основе новых изделий, освоения и диффузии

этих конструкторско-технологических инноваций на производстве тесно связаны между собой и следуют друг за другом. При этом при стратегическом планировании необходимо учитывать не только связь этих процессов, но и длительность. В данном случае рассматривается авиадвигателестроительное производство, для которого ядро инновационных решений будет достаточно наукоемким и время, затраченное на поисковые и прикладные НИР гораздо больше, чем в других отраслях машино- и приборостроения, точно так же и жизненные циклы инноваций, а, значит, и изделий длиннее.

На рис. 2 показана последовательность разработки и внедрения инновации: от фундаментальных и поисковых НИР до НИОКР и внедрения по средствам ТПП.

Мы видим, что разработка инновации происходит по диаграмме слева направо, для назначения же приоритетных направлений развития науки необходимо

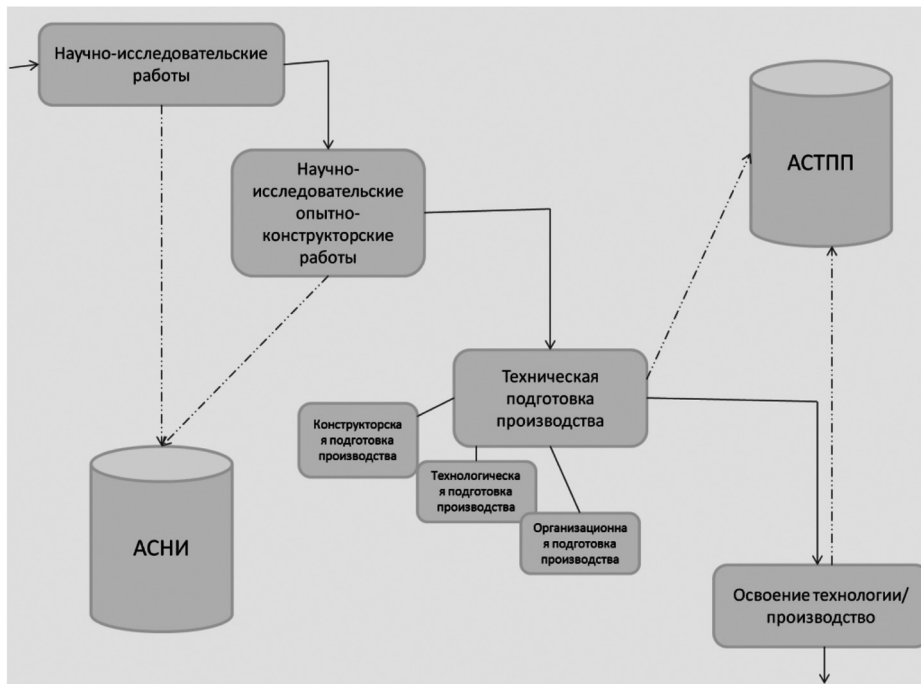


Рис. 1. Диаграмма жизненного цикла инновации

идти наоборот, справа налево: сперва выделив линейку продуктовых инноваций и затем, выделяя ядро технологических инноваций, которые будут обеспечивать создание изделий и выше, к прикладным НИР и поисковым НИР (выбор ядра технологических инноваций). С учетом необходимости государственного регулирования процессов научной подготовки авиационно-двигателестроительной отрасли, а именно разработки стратегий инновационного развития страны и выбора приоритетных направлений развития науки математические модели, которые позволили бы управлять указанными процессами, являются важными.

С другой стороны, связав модели АСНИ и АСТПП с цифровыми двойниками производства, можно получить достаточно общую систему, которая позволит принимать принципиальные управленческие решения.

Целью настоящего исследования является разработка моделей машинного обучения для процессов АСНИ и АСТПП, а также увязка их в единую

систему стратегического планирования научно-технологической и технической подготовки авиационно-двигателестроительного производства в условиях цифровизации. Отметим, что указанные изыскания с учетом корректировки регрессионных моделей машинного обучения могут быть применены для других отраслей народного хозяйства (космическая отрасль, приборостроения), где имеет место высокая доля государственного регулирования. (Для предприятий гражданского назначения необходимо более подробно учитывать факторы внешней среды — рынка, которые вносят значительную долю неопределенности в управление и планирование.)

1. Долгосрочное планирование научной подготовки в условиях цифровизации АСНИ

Из источников [11] известно, что в инноватике рассматриваются различные сигмоидальные законы и закономерности для моделирования объективных

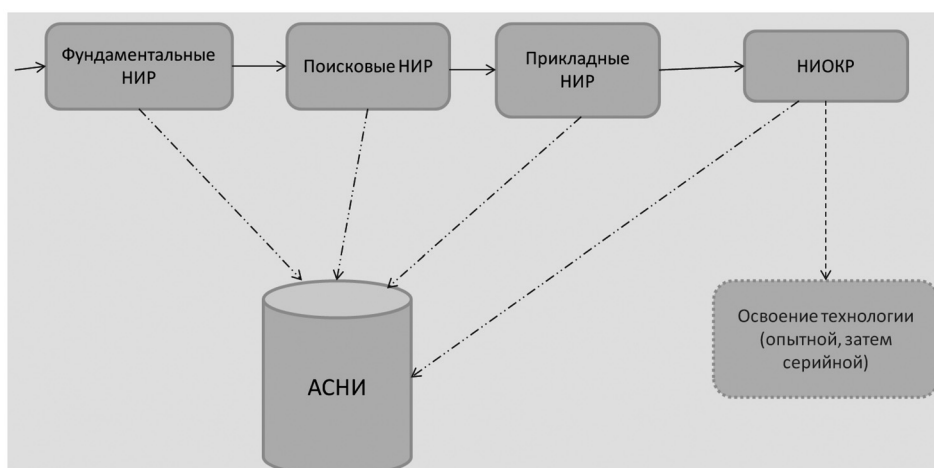
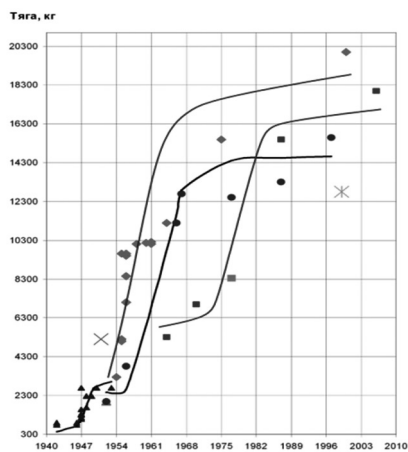


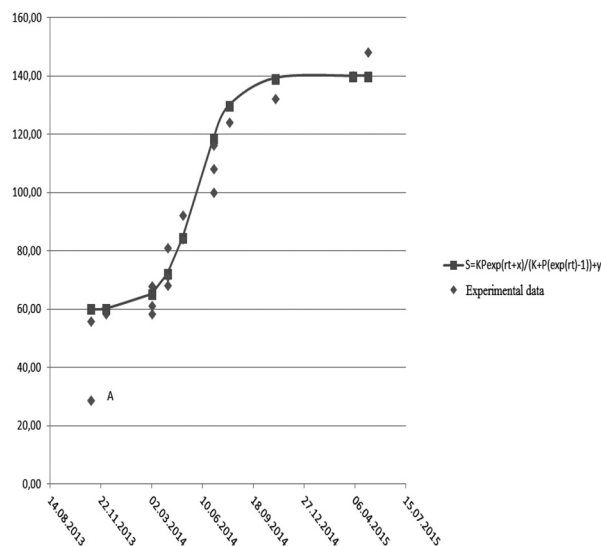
Рис. 2. Последовательность разработки и внедрения инновации в АСНИ



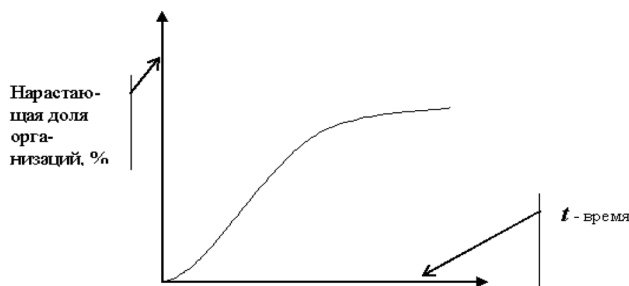
- ▲ Двигатели дозвуковых самолетов-истребителей
- ▲ Двигатель AM-5 (особая точка)
- ◆ Двигатели сверхзвуковых истребителей-перехватчиков
- × Двигатель АЛ-5 - снят с испытаний вследствие низкой надежности (особая точка)
- Двигатели самолетов-истребителей вертикального взлета и посадки
- Двигатели многофункциональных высокоманевренных истребителей (истребителей-бомбардировщиков)
- Двигатель РД-33 (МиГ-29) - без многофункциональных модификаций (особая точка)
- × Двигатель АЛ-31Ф-3 (особая точка)

Двигатели дозвуковых самолетов-истребителей:
 $P(t) = 930 * \arctg(t - 1948) + 1900, R^2 = 0,7957;$
 Двигатели сверхзвуковых истребителей-перехватчиков:
 $P(t) = 5700 * \arctg(t - 1957) + 9800, R^2 = 0,7076;$
 Двигатели самолетов-истребителей вертикального взлета и посадки:
 $P(t) = 3900 * \arctg(t - 1985) + 11650, R^2 = 0,9515;$
 Двигатели многофункциональных высокоманевренных истребителей (истребителей-бомбардировщиков):
 $P(t) = 4000 * \arctg(t - 1965) + 8450, R^2 = 0,8780,$
 где P – тяга двигателя, кг.

а



б



в

Рис. 3. Виды закономерностей: а — закономерности смены поколений авиационных реактивных двигателей самолетов-истребителей [11]; б — закономерность освоения инновации — освоение новой технологии на базе внедрения РТК (по оси абсцисс — время, по оси ординат — постепенное увеличение нагрузки в нормочасах); в — вид закономерности для анализа диффузии технологии (по Моррису)

процессов создания, диффузии и освоения высоких и критических технологий, а также смены поколений этих технологий:

- закон смены технологических укладов («Большие циклы экономического роста определяет волновая динамика смены технологических укладов, действие которой превышает сумму результативности факторов роста капитала и труда на величину эффекта инновационной деятельности по замене технологий»);
- закон смены поколений техники и технологии («Для обеспечения долговечности и/или конкурентоспособности технических систем их поколения заменяют на основе принципиального изменения технологий данной генерации систем»);
- закономерности диффузии высоких и критических технологий (является теоретическим обобщением многих частных закономерностей распространения новых технологий, обоснованных в виде математических моделей Фишера–Прая, Гомпертца, Морриса, Каменева, Перла и др.);
- закономерности освоения новых технологий (показывает динамику процесса освоения нововведения как переходный процесс в развитии технологической системы — переход из одного состояния в другое посредством внедрения инноваций) и др.

При моделировании и использовании этих зависимостей необходимо помнить, что они являются фундаментальной причины больших, средних и малых циклов экономического развития [11].

На рис. 3 представлены указанные закономерности. Эти закономерности можно построить в виде регрессионных моделей машинного обучения на основании имеющейся обучающей выборки (эмпирических данных).

Рассмотрим взаимосвязь этих законов инноватики подробнее. Учтем, что технологический уклад — это целостные комплексы технологически сопряженных производств, периодический процесс последовательного замещения которых определяет «длинноволновую» ритм современного экономического роста. Его отличительной чертой является ядро, которое формируется совокупностью взаимосвязанных базовых технологий, которые способны вызвать длинную волну экономического роста). При этом для выбранной отрасли данное ядро определяет поколение техники и технологии, например, на рис. 3, а, приведены такие закономерности для авиационных двигателей самолетов-истребителей. При этом каждая точка сигмоидальной кривой данного поколения техники и технологии — набор технологий, которые формируют инновационное ядро технологических

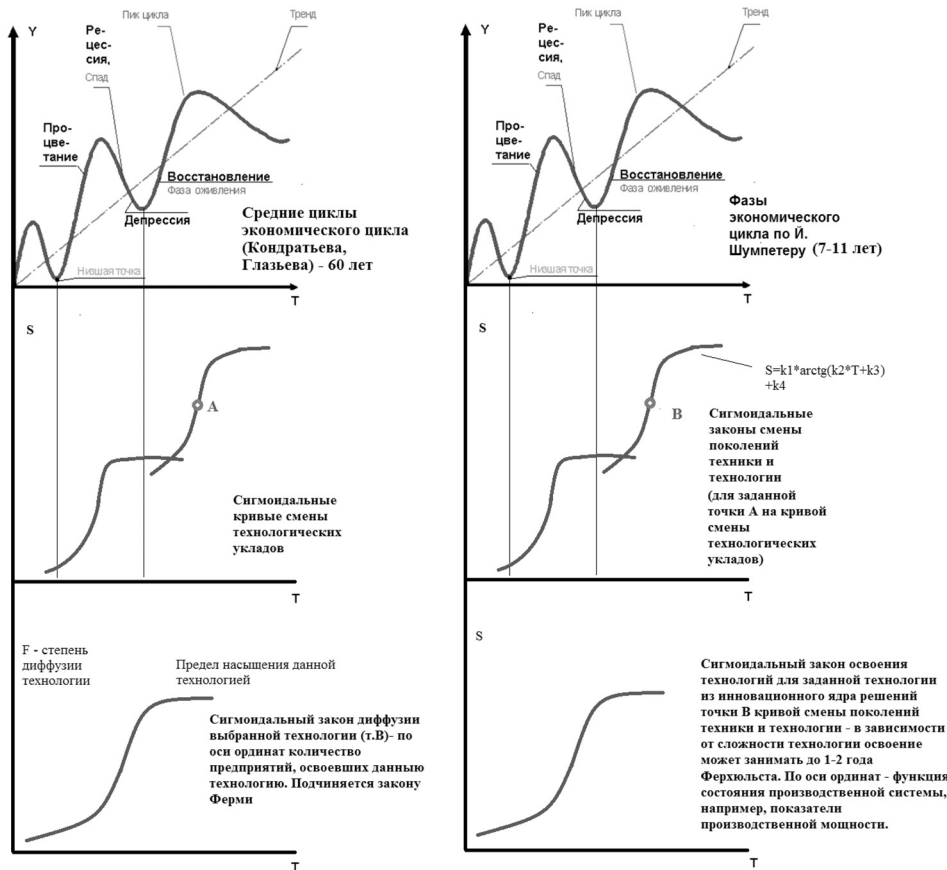


Рис. 4. Сводная диаграмма S-образных кривых инноватики

решений этой модели двигателя. В свою очередь, для каждой технологии из этого ядра справедливы закономерности освоения и диффузии инноваций на рис. 3, б, в. Можно сказать, что в таком случае процессы, описывающие создание высоких и критических технологий представляют сочетание больших и малых гармоник циклов развития либо по-другому может быть представлена в виде сложного фрактала (рис. 4). Необходимо помнить, что с точки зрения теории автоматизированного управления такие сигмоидальные кривые представляют собой процесс перехода системы из одного состояния в другое, но в отличие от технических систем в рамках инновационного развития такая перерегулировка непрерывна ввиду необходимости постоянного развития системы.

Теперь выделим одно из поколений техники и технологии (рис. 5). На диаграмме показаны точки устойчивости системы, исходя из которых, если в точке А мы должны иметь двигатель нового поколения, то нисходя от точки А вниз по кривой диффузии технологий, а также по кривой освоения технологий, плюс учитывая время на прикладные и поисковые НИР, а также НИОКР, мы получим время, когда необходимо начинать разработку технологических инноваций, которые будут ядром технологических решений нового изделия.

Отметим, что математический вид всех зависимостей известен, что позволяет производить расчеты этапов и стадий НИР с использованием регрессионных моделей машинного обучения. Отметим, что для каждой отрасли математический вид будет одинаков,

разнится будут коэффициенты ввиду разной наукоемкости и трудоемкости изысканий.

На этапе поисковых НИР очень важно сделать как можно больший научный задел для этапа прикладных НИР и соответственно НИОКР. Освещая этот вопрос, обратимся к задаче выбора ядра технологических инноваций для изделия нового поколения. Выбор ядра технологических инноваций является нетривиальным,

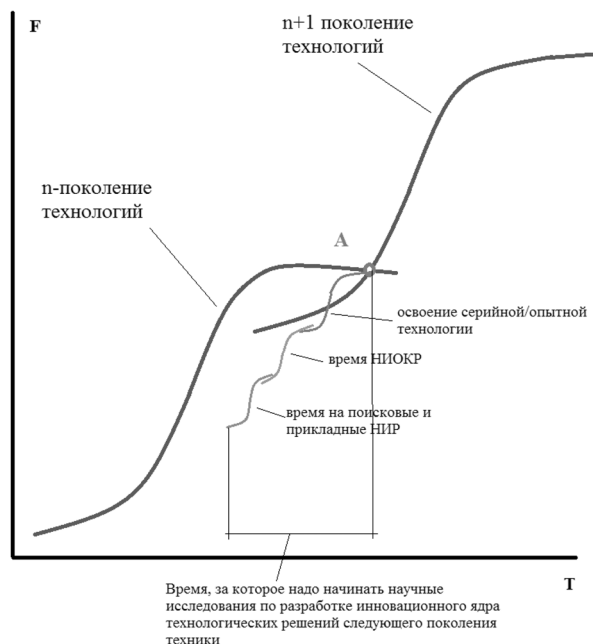


Рис. 5. Стратегическое планирование в АСНИ

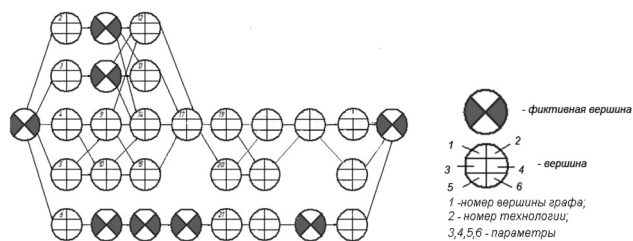


Рис. 6. Структурная многовариантная модель (граф) для выбора технологии на основе использования лучших отечественных и зарубежных разработок

тем не менее, представляя его в виде многовариантного графа (рис. 6, 7), его можно упростить с использованием методов нечеткой логики [13]. Общая схема метода приведена на рис.6 детально метод рассмотрен в [12, 13].

2. Долгосрочное планирование технической подготовки производства в условиях цифровизации АСТПП

В работах [10] уже освещалась тематика применения каскадного метода для управления проектами технического перевооружения производства, а в работе [12] освещается тематика непрерывной технологической подготовки производства. Продолжим эти научные изыскания. Обратимся к вопросу планирования и анализу загрузки производственных мощностей предприятия на разных уровнях: дивизиона предприятий, одного предприятия, цеха и участка.

Известно, что предприятий ОПК страны производственная программа является заданной, исходя из потребности вооруженности страны, при этом она состоит из деталей и сборочных единиц (ДСЕ), которые изготавливаются по кооперации и изделий, изготовление которых представляет собой полный технологический цикл. Для предприятий, входящих в ОДК диаграмма распределения производственных мощностей в общем виде может быть представлена

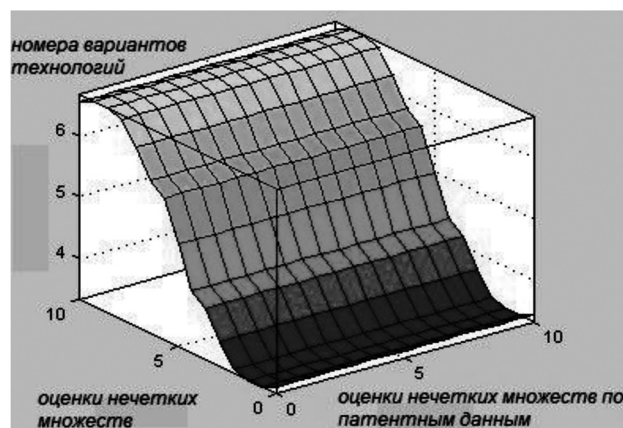


Рис. 7. Поверхность для выбора высоких технологий с учетом их трансферта для разработки предварительных технологических проектов

в виде (рис. 8). Данные взяты из соответствующих сайтов корпорации.

Зная имеющиеся производственные мощности, и представляя объем готовых изделий, в конце возможно рассчитать производственную нагрузку на отдельные предприятия. При этом при реструктуризации производственной программы либо ее изменении перерасчет будет занимать время. Для автоматизации этих планировочных расчетов предлагается использовать имитационное математическое моделирование. На рис. 9 изображена принципиальная схема таких расчетов.

С другой стороны необходимо учитывать процессы инверсии и конверсии производства, а также возможной переброски производственной мощности с предприятия на предприятие, резервирование ОПФ и т. д. В таком случае предлагается следующая двух-слойная диаграмма (рис. 9).

Первый слой представляет собой предприятия гражданского назначения, второй — оборонного (дивизион ОДК, например). Каждое предприятие второго слоя имеет связи с предприятиями первого. В обычное время производственные мощности предприятий

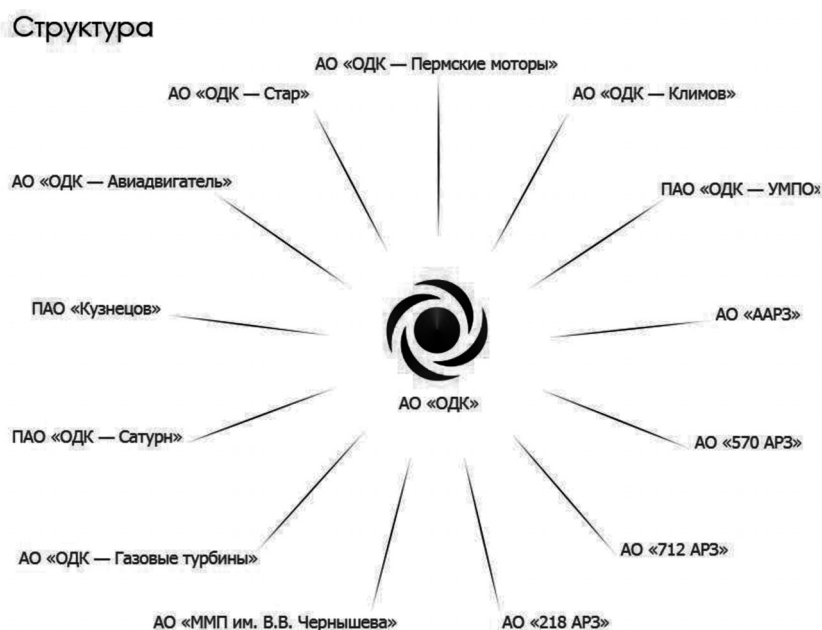


Рис. 8. Структура АО «ОДК»

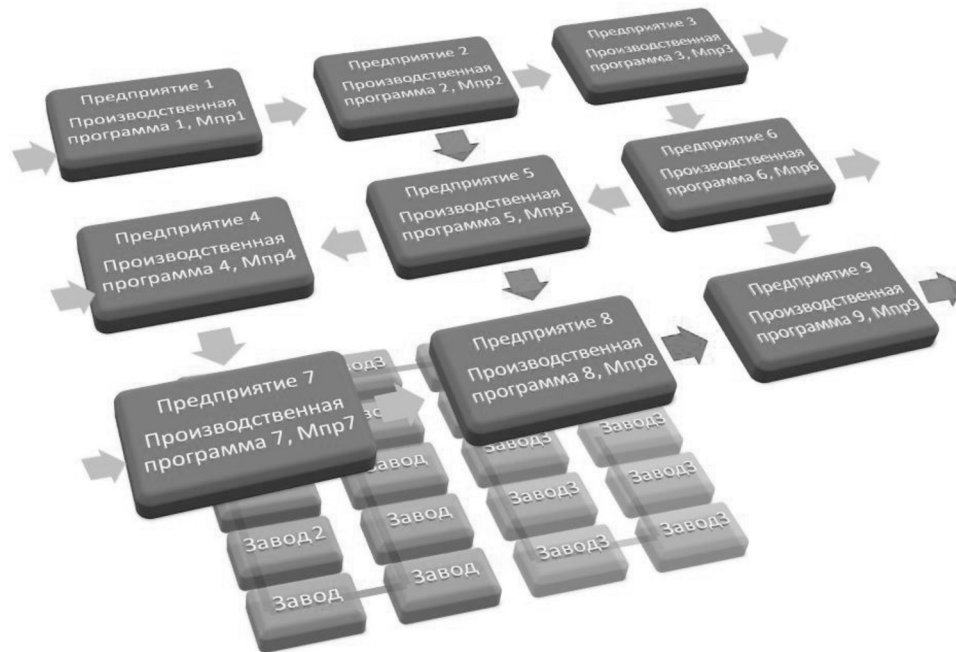


Рис. 9. Двухслойная диаграмма

первого и второго слоя на заданные проценты загружаются своими целевыми изделиями. В то же время для обеспечения быстрой мобилизации производственных мощностей в случае чрезвычайной ситуации необходимо отработать загодя алгоритмы переброски мощностей и ее инверсии/конверсии. Этот важный момент необходимо учитывать при нисходящем проектировании: когда планируются производственные мощности предприятий оборонного и гражданского назначения — парк оборудования, его качественный и количественный состав, должен быть рассчитан исходя из вышесказанного. При этом необходимо учитывать нюансы выбора оборудования (его типажа и его работы в условиях возможных санкций), резервирования оборудования и площадей. Важно понимать, что срочная переброска производственной мощности с одного предприятия на другое вне зависимости от его изначального назначения предусматривает предварительную освоенность технологий на конечном предприятии. Даже при высокой степени цифровизации и автоматизации процессов на производстве процессы освоения технологии занимают время.

Все вышеизложенное формирует технические требования к предполагаемой системе имитационного моделирования для стратегического планирования производств. С другой стороны, необходимо понимать взаимосвязь указанной системы с имитационными моделями анализа и планирования загрузки производственных мощностей отдельных предприятий, а

также имитационных моделей технологических линий на этих предприятиях. В дальнейших публикациях авторы намерены осветить часть исследования, посвященную теме разработки цифрового двойника производства, откуда становится ясно, что планирование и организация производства по сути представляет собой процесс решения вложенных задач, при этом задачи по своему содержанию однотипны (задачи анализа производственной загрузки — построение имитационных моделей, задача классификации и группирования, задача управления инновационными проектами — освоение новых технологий) и различаются лишь уровнем: уровень дивизиона, одного предприятия, цеха и т. д.

Заключение

Необходимость долгосрочного планирования и разработки стратегий развития требует разработки интегрированных имитационных систем, построенных на фундаментальных закономерностях и зависимостях инновационных процессов. В условиях цифровизации и необходимости сокращения сроков переходных процессов подготовки производства использование моделей машинного обучения, построенных на регрессионных зависимостях и нейронных сетях — единственное возможное решение. Ввиду вышесказанного представленные в данном исследовании разработки являются исключительно актуальными и требующими дальнейших исследований.

Список использованных источников

1. Ю. В. Белоусов, О. И. Тимофеева. Методология определения цифровой экономики//Мир новой экономики. 2019. Т. 13. № 4. С. 79-89.
2. Н. В. Курганова, М. А. Филин, Д. С. Черняев и др. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства//International Journal of Open Information Technologies. Vol. 7. № 5. 2019.
3. M. Grieves. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication//White paper. 2014. Vol. 1. P. 1-7.
4. В. Н. Шведенко, А. Е. Мозохин. Применение концепции цифровых двойников на этапах жизненного цикла производственных систем//Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 6. С. 815-827.
5. Г. Б. Евгеньев. Российские технологии создания систем класса «Индустрия 4.0». Ч. 2//Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2018. № 9. С. 18-27.
6. А. И. Боровков, Ю. А. Рябов. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки/Под. ред. А. В. Бабкина//Цифровая трансформация экономики и промышленности: сб. тр. конф. Инпром-2019. СПб.: СПбПУ, 2019. С. 234-245.

7. А. И. Боровков, А. А. Гамзикова, К. В. Кукушкин, Ю. А. Рябов. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: краткий доклад (сентябрь 2019 г.). СПб.: Политех-пресс, 2019. С. 62.
8. I. Kovacic, V. Zoller. Building life cycle optimization tools for early design phases//Energy. 2015. № 92. P. 409-419.
9. С. Г. Селиванов, А. Ф. Шайхулова, С. Н. Поезжалова. Закономерности освоения высоких и критических технологий в производстве//Сборник научных трудов XVI Международной конференции CSIT'2014. Т. 2. 2014. С. 66-69. (На англ. языке.)
10. С. Г. Селиванов, А. А. Кутин, Н. Н. Закашевская. Будущее развития цифрового производства в России//Manufacturing Engineering and technology for manufacturing growth: сборник научных трудов конференции. Ванкувер, 2015. С. 31-35.
11. С. Г. Селиванов, А. Ф. Шайхулова. Использование кривых освоения технологий в управлении проектами ТПП//Сборник научных трудов XVI Международной конференции CSIT'2014. Т. 2. 2014. С. 111-114.
12. С. Г. Селиванов, А. Ф. Шайхулова, С. Н. Поезжалова. Законы и закономерности Инноватики//Международный научный журнал «Инновации в жизнь». № 1 (20), март 2017. С. 13-16.
13. С. Г. Селиванов, А. Ф. Шайхулова, Г. Ф. Камалова. Методы инновационного проектирования технологического перевооружения производства. Lap Lambert Academic Publishing is a trademark of: AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2014.
14. P. E. D. Love, J. Matthews. The 'how' of benefits management for digital technology: From engineering to asset management//Automation in Construction. 2019. № 107.

References

1. Yu. V. Belousov, O. I. Timofeeva. Methodology for defining the digital economy//Mir novoj ekonomiki [World of the New Economy]. 2019. Vol. 13. № 4. P. 79-89.
2. N. Kurganova, M. Filin, D. Cherniaev et al. Digital twins' introduction as one of the major directions of industrial digitalization//International Journal of Open Information Technologies. Vol. 7. № 5. 2019.
3. M. Grieves. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication//White paper. 2014. Vol. 1. P. 1-7.
4. V. N. Shvedenko, A. E. Mozokhin. Concept of digital twins at life cycle stages of production systems//Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2020. Vol. 20. № 6. P. 815-827. (in Russian)
5. G. B. Evgenev. Russian Technologies for Creation of Industry 4.0 Systems. Part 2//Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building. 2018. № 9. P. 18-27.
6. А. И. Боровков, Ю. А. Рябов. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки/Под. ред. А. В. Бабкина//Цифровая трансформация экономики и промышленности: сб. тр. конф. Inprom-2019. СПб.: SPbPU, 2019. P. 234-245.
7. А. И. Боровков, А. А. Гамзикова, К. В. Кукушкин, Ю. А. Рябов. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: краткий доклад. СПб.: Политех-пресс, 2019. С. 62.
8. I. Kovacic, V. Zoller. Building life cycle optimization tools for early design phases//Energy. 2015. № 92. P. 409-419.
9. S. G. Selivanov, A. F. Shayhulova, S. N. Poezjalova. Regularities of high technologies involvement in production//Proc. of 17th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2015). Vol. 2. 2015. P. 66-69.
10. А. А. Кутин, Н. Н. Закашевская, С. Г. Селиванов, А. Ф. Шайхулова. Future Development of Digital Manufacturing in Russia//Proc. Of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering and Technology for Manufacturing Growth (METMG 2015). 2015. P. 31-35.
11. S. G. Selivanov, A. F. Shayhulova. Usage of new technologies involvement regularities during project management in production technologic preparation//Proc. of the 16th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2014). Vol. 2. 2014. P. 74-78.
12. S. G. Selivanov, A. F. Shayhulova, S. N. Poezjalova. Principles and Regularities of Innovatics//International Journal «Innovations in life». № 1 (20), march 2017. P. 13-16.
13. S. G. Selivanov, A. F. Shayhulova, G. F. Kamalova. Methods of innovative development in technic reconstruction. Lap Lambert Academic Publishing is a trademark of: AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2014. 316 p.
14. P. E. D. Love, J. Matthews. The 'how' of benefits management for digital technology: From engineering to asset management//Automation in Construction. 2019. № 107.