

УДК 519.245

**МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА ЦЕХА ПО  
ПРОИЗВОДСТВУ АВИАЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Кибешова А.В., студентка гр. М7О-210БВ-23, II курс  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования "Московский авиационный институт  
(Национальный исследовательский университет)"  
г. Москва

В настоящее время в Российской Федерации начинает активно развиваться гражданское отечественное авиастроение. В том числе производство отечественных самолетов, беспилотных летательных аппаратов, летательных аппаратов баллистического типа и т.д. Для производства подобных изделий используются авиационные оребренные панели из высокопрочных алюминиевых сплавов, которые являются одним из основных элементов силового каркаса фюзеляжа летательного аппарата. Основным вопросом при производстве данных изделий является соотношение себестоимости (и, как следствие, цены) производимой панели и высокого качества производимой продукции. Проблема заключается в том, что оребренные панели, как и оребренные обечайки, воспринимают значительные силовые нагрузки в процессе запуска изделия и в процессе его полета. Поэтому, наличие в объеме, изготовленной оребренной панели какого либо дефекта (трещины, поры, утяжины, зажима и т.д.) может сыграть роль концентратора напряжения. При превышении предельно допустимых напряжений может начаться необратимый процесс разрушения силового элемента фюзеляжа летательного аппарата. Наиболее перспективным способом производства оребренных авиационных панелей считается горячая объемная штамповка из заготовки в виде плиты или полосы. Горячая объемная штамповка позволяет получать детали с мелкозернистой равноосной структурой материала, которая в отличие от литейной дендритной структуры придает материалу повышенные прочностные и усталостные характеристики. В процессе горячей объемной штамповки заживаются характерные для литой дендритной структуры усадочные поры, пустоты, трещины и т.д. Получение авиационных панелей механической обработкой (фрезерованием) приводит к крайне большим, в подавляющем большинстве случаев безвозвратным, потерям металла в различного рода отходы в виде стружки. Как известно, в настоящее время для материалоемкой продукции металлургии и машиностроения основной долей расходов на изготовление детали являются именно расходы на основные материалы. Поэтому увеличение нормы расхода основных материалов неминуемо приводит к значительному росту себестоимости получаемой детали.

Была поставлена задача разработки проекта цеха по производству орбренных панелей заданного типоразмера с заданной программой выпуска в 1000 тонн из группы высокопрочных алюминиевых сплавов. При этом необходимо было стремиться к обеспечению высокого качества получаемой продукции и стараться максимально минимизировать издержки на ее производство. На основе анализа технической литературы было установлено, что предварительно приближенную площадь цеха можно определить исходя из годовой программы выпуска продукции и нормы съема готовой продукции с одного квадратного метра производственных площадей [1, 2]. Однако такой расчет является крайне приближенным. Тем не менее, эта процедура позволяет выбрать производственную площадку в рамках пустующих земель или вписать цех в территорию уже действующего предприятия. Также знание предварительной площади цеха и его этажности позволяет проанализировать вопрос о требованиях к состоянию грунтов, на которых планируется размещение здания цеха и проанализировать схему оптимальной организации движения транспортных средств при доставке в цех сырья, материалов, оборудования и т.д. [3, 4].

При поведении анализа методов получения авиационных панелей был выбран технологический процесс изотермической штамповки, который обеспечивает максимальный коэффициент использования основного материала (КИМ) ввиду применения минимальных припусков, напусков и технологических уклонов на размеры штампуемой детали [5]. Зная основные и вспомогательные операции техпроцесса, зная производительность оборудования и требуемую единицу площади на каждое оборудование можно определить площадь и компоновку цеха [6]. Однако расстановку оборудования и организацию производственных участков целесообразно проводить по движению материальных потоков в цехе. Это ускорит перемещение полуфабрикатов по операциям технологического процесса [7].

Тогда можно перейти к проектированию цеха. При этом необходимо определить материал стен, высоту пролетов, рассчитать глубину залегания фундамента. В настоящее время наибольшей популярностью пользуются цеха в виде быстровозводимых металлических конструкций, без капитального фундамента и стенами из сэндвич-панелей. Однако, такие конструкции недолговечны и не рекомендуются на металлургических предприятиях [8]. Необходимо помнить, что цех – это не только производственные площади. Это еще и большое количество дополнительных вспомогательных помещений. В частности, на рис.1 представлен пример архитектурного и организационно-компоновочного проекта цеха с пристроенной двухэтажной частью с административными и вспомогательными помещениями. Одной из наиболее сложных задач при проектировании цехов является размещение производственных участков и основного производственного оборудования.

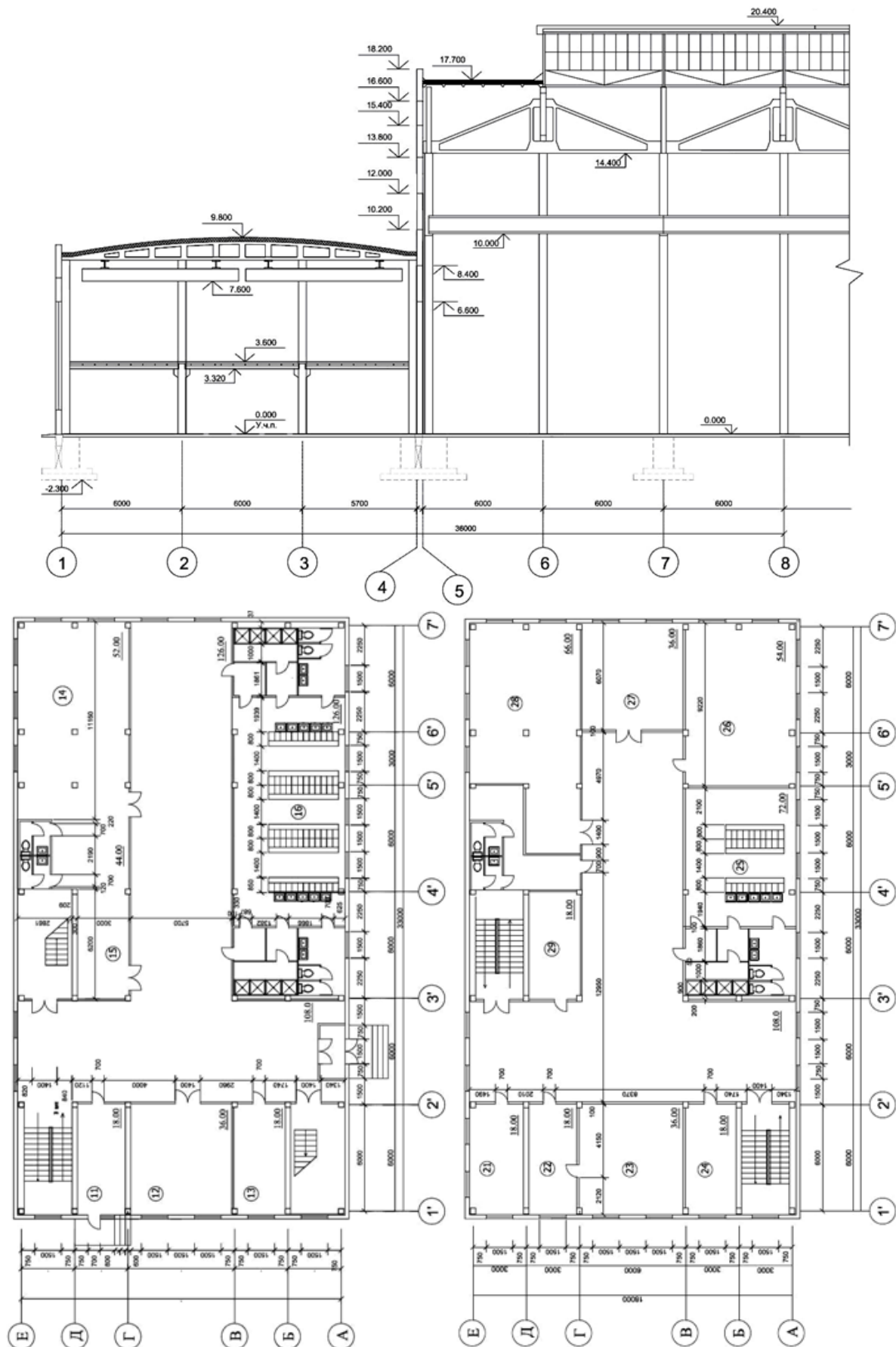


Рисунок 1 – Пример архитектурного и компоновочного решения проекта цеха горячей объемной штамповки авиационных панелей

Известно, что в условиях крупносерийного и массового производства (а иногда и в условиях среднесерийного производства) основное производственное оборудование целесообразно расставлять по ходу цепочек производственных операций, составляющих технологический процесс производства изделия [1, 2, 4]. В этом случае достигается значительная экономия расходов на организацию доставки полуфабрикатов с предыдущей технологической операции на последующую. В данном случае расстояния для транспортировки минимальны и можно использовать такие механизированные системы транспортировки как склизы, рольганги, траковые или ленточные транспортеры [3, 8]. Данные средства транспортировки дешевы, не нуждаются в электропитании и не требуют внимания рабочего-оператора. В случае мелкосерийного или единичного производства, когда наблюдается выпуск крайне малых партий однотипных деталей, когда цех имеет широкую номенклатуру производимой продукции принцип компоновки основного производственного оборудования совсем другой. Оборудование компонуется по принципу выделенных производственных участков выполнения характерных операций [1]. В случае реализации предлагаемой технологии производства авиационных панелей из высокопрочных алюминиевых сплавов в соответствии с операциями технологии необходимо предусмотреть такие производственные участки как участок горячей или изотермической штамповки, участок термической обработки, участок механической обработки, гальванический участок и т.д. [9]. Другой сложной задачей при проектировании является согласование производительности выполнения операций. С учетом того, что каждая технологическая операция длится свое конкретное время, характеризуется своей конкретной трудоемкостью и штучно-калькуляционной нормой времени выполнения операции то такое согласование возможно только путем подбора требуемого количества оборудования на смежных операциях [1, 3].

Для решения этих задач при проектировании цехов предлагается использовать имитационное моделирование производственных процессов. Среди огромного множества представленных на рынке прикладных программных сред имитационного моделирования производственных процессов выбрана программа AnyLogic, которая единственная является отечественной разработкой [10, 11]. Все остальные программы производятся компаниями недружественных западных стран (США, Германия, Нидерланды и т.д.). Кроме того, программная среда имитационного моделирования AnyLogic 6.3.1 (разработчик – ООО "Экс Джей Текнолоджис") по своим возможностям не уступает зарубежным аналогам, при этом значительно выигрывая в своей цене [10]. В рамках выполнения исследовательских работ было проведено имитационное моделирование проектируемого цеха горячей объемной штамповки панелей по стандартной методике с учетом рекомендаций, изложенных в [12]. На рис. 2 и рис. 3 представлены примеры элементов созданных моделей участков цеха с применением среды имитационного моделирования AnyLogic 6.3.1.

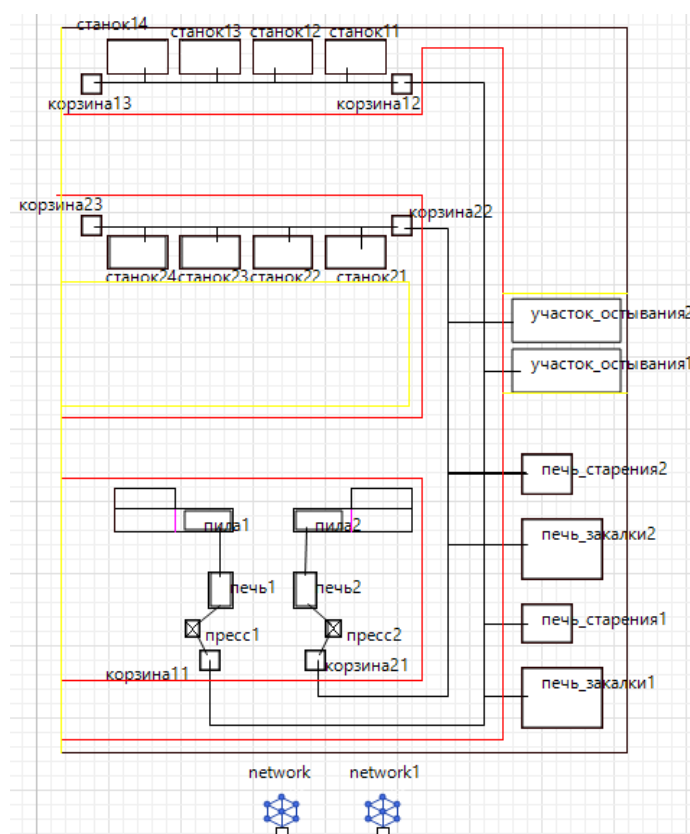


Рисунок 2 – Пример компоновки оборудования цеха штамповки панелей в среде имитационного моделирования AnyLogic 6.3.1

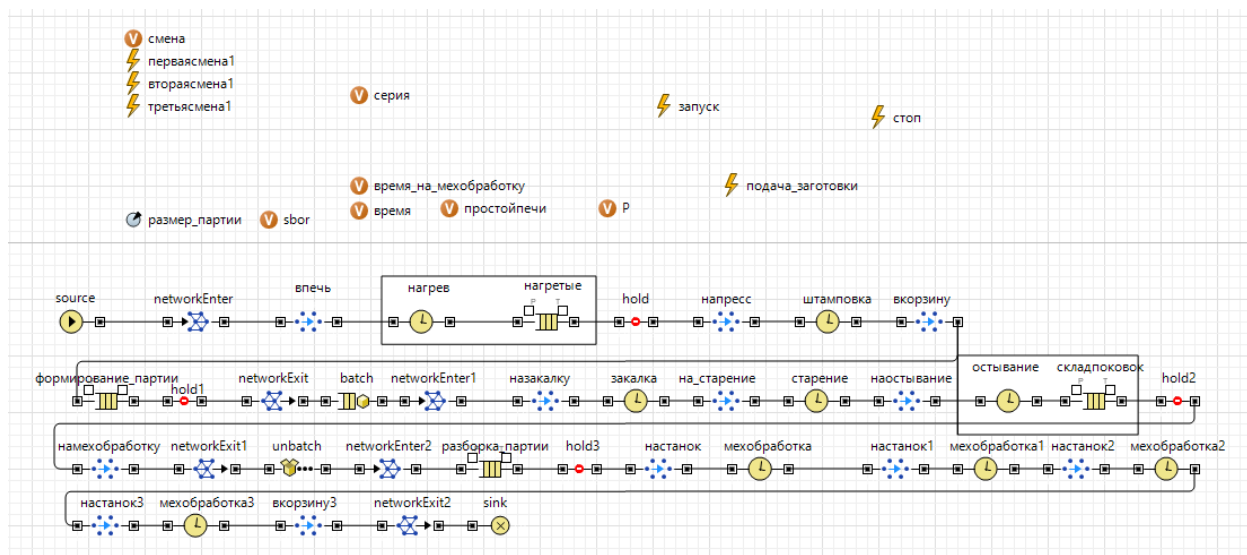


Рисунок 3 – Переменные, параметры, события и диаграмма имитации технологического процесса производства при построении модели в среде имитационного моделирования AnyLogic 6.3.1

На основе результатов математического моделирования и требований нормативных документов, в частности ГОСТ Р 56639-2015 [13] производить-

ся окончательное проектирование цеха горячей объемной штамповки. Необходимо отметить, что стадия имитационного моделирования позволяет не только выбрать оптимальный вариант компоновки основного и вспомогательного производственного оборудования и продолжительность путей транспортировки полуфабрикатов, но и ответить на многочисленные вопросы категории "что, если", постоянно возникающие в процессе проектирования производственного цеха [12, 14].

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенных проектных и исследовательских работ предложена и опробована методика проектирования цехов горячей объемной штамповки сложных по конфигурации изделий, которая помимо стандартных действий и процедур включает в себя обязательное моделирование производственных процессов в программных средах систем имитационного моделирования. Определены и опробованы высокие технические возможности программной среды AnyLogic 6.3.1, позволяющие провести определение потребного количества оборудования, определить объемы запасов на операциях, определить длительность транспортировки, установить "узкие", проблемные места в системе транспортировки и сфере накопления межоперационных запасов и т.д.

#### Список литературы:

1. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. Справочник. В 6-ти томах. Под общ. ред. Е. С. Ямпольского. Том 3. Проектирование цехов обработки металлов давлением и сварочного производства. Под ред. А. М. Мансурова. – М.: Машиностроение, 1974. – 342 с.
2. Каргин В.Р. Проектирование прессовых цехов: Учебное пособие / Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2005. – 188 с.
3. Галкин А.М., Винпевич В.А. Проектирование цехов обработки цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980. – 250 с.
4. Шехтер В.Я. Проектирование кузнечных и холодноштамповочных цехов: Учебник. М.: Высшая школа, 1991. – 367 с.
5. Жаров М. В. Исследование течения металла при изотермической штамповке авиационных панелей и обечаек с целью повышения качества изделий // Вестник машиностроения. – 2024. – Т. 103. № 2. – с. 120-124. doi: 10.36652/0042-4633-2024-103-2-120-124
6. Киселев Е.С. Проектирование механосборочных и вспомогательных цехов машиностроительных предприятий: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 1999. – 118 с.
7. Жаров М. В. Исследование механизмов формирования дефектов, возникающих при изготовлении оребренных авиационных панелей и обечаек // Цветные металлы. – 2024. – № 2. – с. 60-67. doi: 10.17580/tsm.2024.02.07.
8. Михайловский В. Н., Ковалев П. В. Основы проектирования металлургических заводов. Определение объёмно-планировочных решений, состава и количества основного технологического и подъёмно-транспортного оборудо-

вания сталеплавильных цехов: учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2013. – 215 с.

9. Жаров М. В. Анализ характера течения металла при изготовлении авиационных панелей из различных групп алюминиевых сплавов методами изотермической штамповки // Физика и химия обработки материалов. – 2024. – № 1. – с. 41-52. doi: 10.30791/0015-3214-2024-1-41-52.

10. Жаров М.В. Исследование перспектив применения программных сред имитационного моделирования при разработке и оптимизации производств машиностроения // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2021. – № (54). – с. 58-67. doi: 10.17072/1993-0550-2021-3-58-67

11. Михеева Т.В. Обзор существующих программных средств имитационного моделирования при исследовании механизмов функционирования и управления производственными системами // Известия Алтайского государственного университета. – 2009. – № 1(61). – с. 87–90.

12. Жаров М.В. Моделирование оптимизации для организации производств цехов машиностроения в программной среде AnyLogic // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2020. – № 71. – с. 151-161. doi: 10.21667/1995-4565-2020-71-151-161.

13. ГОСТ Р 56639-2015. Технологическое проектирование промышленных предприятий. Общие требования. Издание официальное. М.: Стандартинформ, 2016. – 19 с.

14. Жаров М.В. Имитационное моделирование производственной среды цехов механической обработки // Автоматизация в промышленности. – 2020. – № 5. – с. 34-37. doi: 10.25728/avtprom.2020.05.07