

Методы разработки технологических планировок оборудования в проектах технического перевооружения механических цехов

С.Г. Селиванов
Факультет Авиационных технологических систем
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
e-mail: S.G.Selivanov@mail.ru

А.Ф. Шайхулова
Факультет Авиационных технологических систем
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
e-mail: shaihulova@inbox.ru

Аннотация¹

В статье описаны методы автоматизации разработки чертежей технологических планировок в проектах технического перевооружения производства.

1. Введение

Для обеспечения развития инновационной экономики Президентом² и Правительством³ России определены основные мероприятия по созданию и модернизации к 2020 г. 25 млн. высокопроизводительных рабочих мест, увеличению доли продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей, увеличению в 1,5 раза производительности труда к 2018 г. относительно уровня 2011 г.

Для решения поставленных проблем на современной научной основе весьма актуальной становится задача оптимизации инвестиционных и инновационных проектов модернизации машино- и приборостроительного производства. Эту задачу решают в первую очередь за счет применения методов моделирования проектов технического (технологического) перевооружения производства.

Целью данной публикации является обоснование новых методов автоматизации инновационного проектирования, которые применяют для разработки проектов технического (технологического) перевооружения машиностроительного производства и внедрения технологических инноваций.

Труды четвертой международной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 17 - 19 мая, Уфа, Россия, 2016

² Указ Президента Российской Федерации № 596 от 7 мая 2012 года «О долгосрочной государственной экономической политике»

³ Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020г. (Распоряжение Правительства РФ от 8 декабря 2011 г. N 2227-р)

Практическую ценность работы составляют новые методы объемного моделирования цехов и производственных участков для автоматизации проектно-технологических работ.

2. Методы моделирования технологических планировок оборудования в проектах

Рассмотрим более подробно методы выполнения планировок оборудования в проектах технологического (технического) перевооружения производства, рис.1.

Для выполнения технологической планировки оборудования на чертеж компоновочной схемы⁴, изображенный в масштабе 1:50 для участка, 1:100 для цеха или 1:200 для корпуса, дополнительно наносят условные обозначения и масштабированные проекции:

- основного, вспомогательного, подъемно-транспортного оборудования, в том числе станков, конвейеров всех типов и дополнительного, нерасчетного оборудования, с указанием порядкового номера по спецификации, ведомости и (или) по спецификации, совмещенной со сметой затрат на приобретение и монтаж оборудования;
- рабочие места у оборудования, вспомогательные рабочие места, рабочие места многостаночников и маршруты обслуживания ими оборудования, рабочие места мастеров участков и наладчиков оборудования;
- складочные площадки и резервные места под оборудование, площадки для складирования материалов, полуфабрикатов или изделий;

⁴ Технологической компоновки цеха или корпуса.

- места подвода инженерных сетей (электроэнергии, сжатого воздуха, газов, жидкостей, эмульсий);
- места расположения приборов и устройств, например, электрооборудования, санитарно-технических устройств, устройств вентиляции, отопления;
- расположение средств пожаротушения, в том числе огнетушителей, воздушно-пенных установок, пожарных щитов и пожарных кранов.

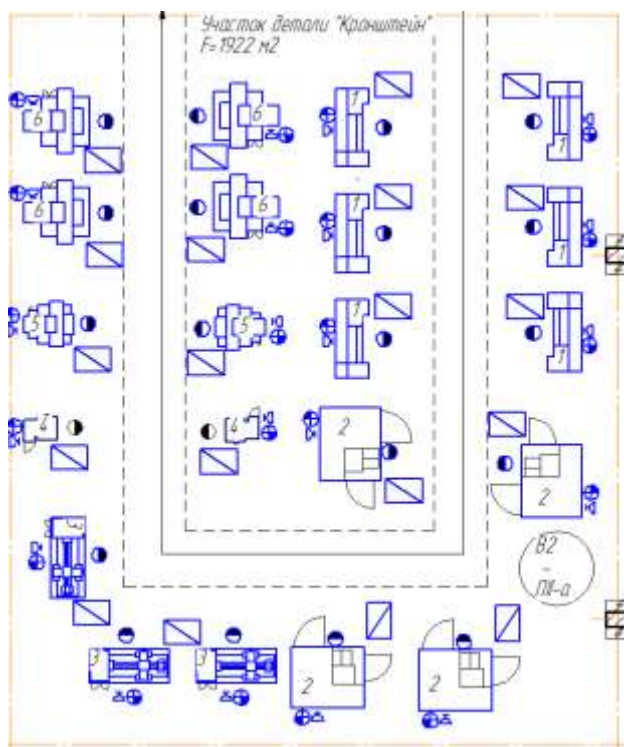


Рис.1. Пример технологической планировки

Чертеж технологической планировки оборудования служит заданием на разработку не только архитектурно-строительной части проекта, монтажного плана оборудования, или заданием на проектирование групповых или индивидуальных фундаментов под оборудование. Технологическая планировка оборудования является также исходным документом для выполнения специальных частей проекта (вентиляции, водоснабжения, канализации, отопления, электротехнической части), на её основе разрабатывают проект архитектурно-художественного оформления интерьера помещения, изготовляют объемные макеты объекта проектирования, выполняют технико-экономическую и сметную части проекта.

Планировка оборудования, кроме сказанного, является исходным документом для разработки технических заданий на проектирование нестандартизованного оборудования, типовых рабочих мест, основой для применения организационно-технической оснастки. На основании

планировки оборудования разрабатывают или уточняют графики и программы технического перевооружения производства, графики оперативного управления производством в период его реорганизации. Таким образом, планировка является важнейшим системообразующим документом для комплексного проектирования производственного объекта, в том числе и для разработки проекта технического перевооружения производства.

Выше уже было отмечено, что на чертежах технологических планировок в первую очередь необходимо изобразить габариты оборудования и рабочие места у этого оборудования. Этой работе на предприятиях чаще всего предшествует темплетное макетирование (рис.2).

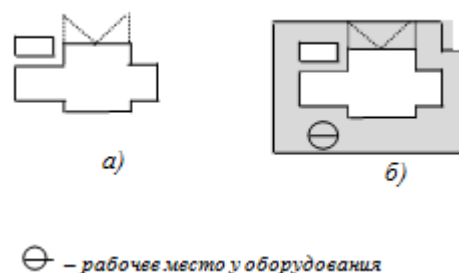


Рис. 2. Стандартный (а) и инверсные (б) темплеты технологического оборудования (станков)

Для макетирования технологических планировок оборудования необходимо иметь в виду, что кроме простых рабочих мест, которые предусматривают одну единицу технологического оборудования (станок) и одно рабочее место, в практике технологического проектирования достаточно часто встречаются сложные рабочие места. Это – рабочие места многостаночников, рабочие места бригад и комплексные рабочие места из нескольких единиц технологического оборудования, связанных общим транспортным устройством, например, промышленным роботом.

Зная количество рабочих мест, структуры производственных участков, линий оборудования и производственных групп оборудования бригад или групп многостаночного обслуживания, а также:

- состав простых рабочих мест и сложных технологических комплексов оборудования типа робототехнических комплексов (РТК) и гибких производственных модулей (ГПМ);
- их габариты и установочные размеры оборудования;
- места присоединения инженерных сетей к оборудованию (силовой электроэнергии, спецтоков, сжатого воздуха и т.п.)

можно в целях разработки чертежей технологических планировок приступать к макетированию цехов и участков в проектах.

Основные способы макетирования предусматривают:

- изготовление объёмных макетов оборудования;
- получение плоских ортогональных проекций оборудования, выполненного в соответствующем масштабе – это так называемый темплетный метод и
- применение систем автоматизированного проектирования (САПР) технологических планировок оборудования.

В связи с тем, что метод изготовления общеизвестных объёмных макетов достаточно подробно разработан мы более пристальное внимание уделим возможностям совершенствования:

- компьютерного объёмного моделирования (3D-моделирования) в проектах технологического (технического) перевооружения производства;
- темплетного метода (2D-моделирования) технологических планировок оборудования и
- применению вычислительной техники к решению названных задач макетирования технологических планировок оборудования.

В качестве общих замечаний к объёмному макетированию в данной статье мы только отметим достоинства метода объёмного макетирования. Они находят своё проявление:

- в повышении качества проектных решений для сложных объектов, например, предприятий их производственных корпусов и цехов;
- устранении проектных ошибок при увязке проектных решений различных частей проекта, например, технологической, энергетической, строительной;
- уменьшении возможных ошибок в сметной части проекта;
- ускорении согласования проекта с заказчиком;
- улучшении организации монтажных и пусконаладочных работ на объекте и в других преимуществах выбранной методики инновационного и инвестиционного проектирования.

При использовании темплетного метода можно воспользоваться, как стандартными, так и инверсными темплатами (рис.2). Инверсные темплеты отличаются от стандартных, т.е. масштабированных двухразмерных (ортогональных проекций) изображений оборудования или крупных изделий на плоскости тем, что учитывают габариты рабочего места у станка и половину норматива

расстояния до смежного оборудования. Таким образом, инверсные темплеты имеют в центре «отверстие», которое соответствует форме и габаритам оборудования.

Сборка макетов технологических планировок из инверсных темплетов, выполненных обычно из неметаллических материалов (или набора темплетов электронной базы данных САПР технологических планировок оборудования), не только производительнее традиционных способов макетирования, но и позволяет существенно сократить потери производственных площадей. Сказанное подтверждают данные экспериментальных исследований (1).

$$a_{уд}^{ин}=0,771 [a_{уд}^{ст}]^{1,024} \quad (1)$$

Здесь:

- корреляционное отношение – 0,99;
- условные обозначения: *ин.*-инверсный; *ст.*-стандартный метод темплетного макетирования.

Объясняет такую существенную экономию производственной площади то обстоятельство, что сборка инверсных темплетов при макетировании технологических планировок наглядно демонстрирует потери площадей, которые хорошо видны в промежутках между темплатами, их легко может устранить технолог-проектировщик. Стандартные темплеты не позволяют выполнять такие визуальные оценки. Применение инверсных темплетов, таким образом, позволяет сократить потери производственной площади в ряде случаев до 20%.

Вполне понятно, что высвобожденные таким образом без нарушения норм расстояний между оборудованием площади, могут быть использованы не только для установки дополнительного оборудования и наращивания тем самым производственной мощности цеха или производственного участка, но и для других целей, например:

- размещения периферийного оборудования (систем управления, пультов ЧПУ, гидроагрегатов, промышленных роботов, накопителей заготовок и деталей, тактовых столов);
- создания дополнительных рабочих мест (для внестаночной настройки инструмента к станкам с ЧПУ, пунктов операторов автоматизированных транспортно-накопительных систем, пунктов операторов ЭВМ для группового управления технологическим оборудованием, рабочих мест наладчиков автоматизированного оборудования);
- создания автоматизированных систем управления производством и локальных компьютерных сетей.

В связи со сказанным становится очевидным значение предложенного способа макетирования для разработки проектов реконструкции, технического перевооружения, комплексной автоматизации, реновации и других разработок по модернизации производства, когда требуется поставить на производство или увеличить объемы выпуска новой продукции на тех же производственных площадях и при той же или меньшей численности работающих.

В ходе макетирования стремятся минимизировать не только необходимые производственные площади, но и грузооборот, обеспечить наилучшие условия для строительного проектирования и архитектурно-художественного оформления промышленного здания, выполнить требования совместимости смежных производственных подразделений, например, по критериям пожаро- и взрывобезопасности, уровню шума, экологическим условиям, уровням отметок площадей помещений и другим техническим требованиям организации современного производства.

Из сказанного можно сделать вывод о том, что задача макетирования технологического оборудования является многокритериальной и наилучшим образом может быть решена методами многокритериальной оптимизации в условиях применения ЭВМ для макетирования чертежей технологических планировок оборудования.

3. Современные системы объемного моделирования цехов и участков в проектах технического перевооружения производства

Рассмотрим более подробно современные системы автоматизации макетирования (3D-моделирования) цехов и производственных участков. Для решения рассматриваемых задач в Уфимском государственном авиационном техническом университете используется:

- система *Barco I-Space 4*;
- комната виртуальной реальности класса CAVE;
- система трекинга *ARTrack* ;
- стерео система *NVIDIA 3D Vision Pro*;
- вычислительное оборудование.

Одним из основных графических документов проектов технической реконструкции (технологического перевооружения) производства, как было уже сказано, является чертеж технологической планировки оборудования реконструируемого корпуса (цеха, участка). Традиционно этот чертеж выполняют в ортогональной проекции плоского макетирования – 2D с помощью таких систем, как *AutoCad*, *SolidWorks*, *КОМПАС*, *CATIA*, *Интермех* и других.

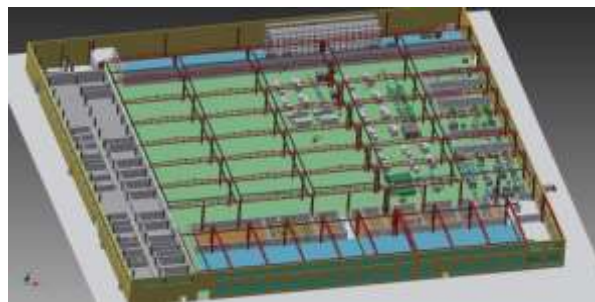
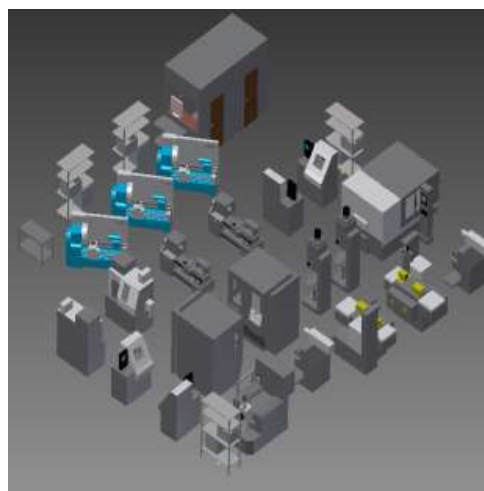
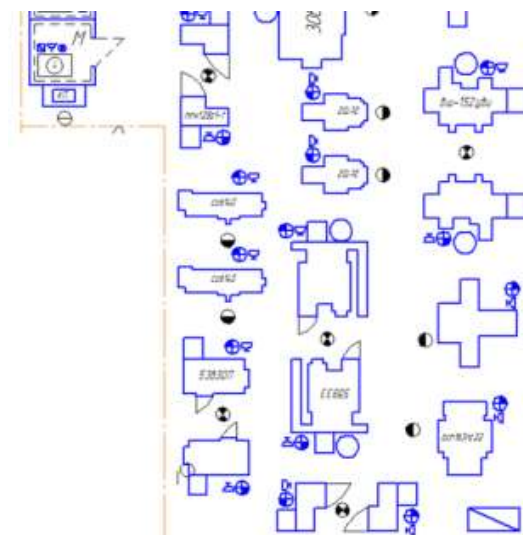


Рис. 3. Трехмерная модель производственного корпуса (3D-макет)



а



б

Рис. 4. Трехмерная модель производственного участка цеха (а) и технологическая планировка его оборудования (б –фрагмент)

Тем не менее, в плоских чертежах ортогональных проекций оборудования (технологических планировках оборудования) велика вероятность

проектных ошибок⁵ из-за недостатка объемного представления технологом-проектировщиком модернизируемого в проекте объекта (корпуса, цеха, участка), она может обнаружиться только на этапе монтажа оборудования и стать причиной выхода за временные и стоимостные рамки инновационного проекта.

Удобной средой для создания 3D-макетов (моделей) цехов и производственных участков и моделей технологических планировок их оборудования является система *Autodesk Inventor*.



Рис. 5. Трехмерная модель производственного участка (рис.4.6) в составе трехмерного (объемного) макета цеха (см. рис.3 – фрагмент)

Являясь интегральным продуктом, система *Autodesk Inventor* позволяет объединить:

- инструменты создания 3D –моделей: деталей строительных элементов (колонн, ферм, стен) и сборок оборудования (станков, промышленных роботов); производственных групп оборудования (станков и крупной оргтехоснастки в виде стеллажей, кабины мастера участка, кабины наладчика оборудования), рис.3–5; строительных вставок для служебно-бытовых помещений и вспомогательных отделений (цеховой ремонтной базы, отделения технического контроля и др.) и других компонентов производственной системы;
- инструменты создания 3D –моделей планировок,
- модули инженерных расчетов,
- модули формирования технической документации,

⁵ Например, проектировщик может не указать на чертеже: перегородку, барьер, насосную станцию или магнитный сепаратор СОЖ станка, не прочертить под мостовым краном технологическое напольное оборудование, не указать крупную оргтехоснастку типа стеллажей, забыть о вспомогательном оборудовании типа установки местного вентиляционного отсоса, коллектора вентиляционной системы и т.д.

- инструменты создания презентаций и видеороликов.

На рис.3 показана компьютерная модель (объемный макет) цеха в производственном корпусе, выполненная с помощью системы *Autodesk Factory Design*. На рис.4. показаны соответственно планировка технологического оборудования участка и соответствующий этой планировке макет оборудования производственного участка, который смонтирован в правом крайнем пролете представленного корпуса, рис.3.

Процесс построения трехмерной компоновки производственного корпуса или цеха (объемного макета) сводится к нескольким этапам:

- 1) создание строительной части проекта (построение 3D модели самого здания с несущими конструкциями, стенами и колоннами);
- 2) Создание 3D-моделей технологического оборудования и контента другого наполнения цеха (рис.6);
- 3) Расстановка 3D-моделей оборудования по планировке оборудования цеха и отладка модели (рис.3,4,5);

Входными данными для моделирования являются:

- 1) архитектурные и строительные решения;
- 2) решения по компоновке цеха, оптимальным технологическим маршрутам движения изделий;
- 3) решения по инженерным сетям;
- 4) расчет потребного количества оборудования и другие технологические решения.

В результате работы с рассматриваемой средой программирования, можно получить трехмерную модель реконструируемого корпуса. Важно, что полученный файл можно конвертировать в 2D чертеж плоского изображения технологической планировки оборудования или перевести в общепринятые форматы.

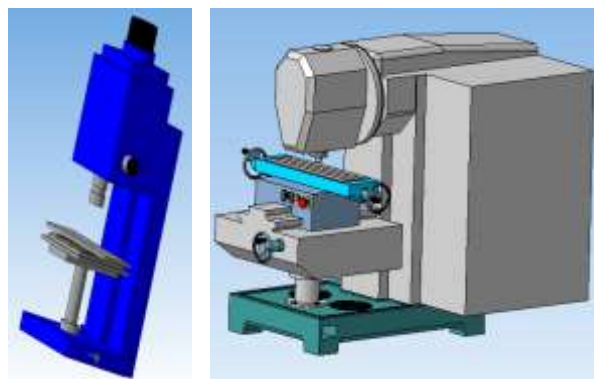


Рис. 6. Примеры трехмерных моделей сверлильного и фрезерного станков

На более высокий уровень 3D проектирование вывела технология *Capturing Motion*. Она уже широко используется для создания 3D анимации, например в киноиндустрии, но особое значение она приобретает для инновационного проектирования технологического перевооружения (реконструкции) именно при разработке проектов корпусов и цехов предприятий. Основное ее преимущество – это эффект присутствия и возможность оперировать 3D-объектами (станками, промышленными роботами, трансманипуляторами, крупной оргтехоснасткой) как реальными объектами при монтаже этого оборудования, рис.7-а. Этот рисунок (рис.7-а,б) иллюстрирует использование системы *Barco I-Space 4* и комнаты виртуальной реальности класса *CAVE* для проектирования цехов.



Рис. 7. Комната виртуальной реальности класса CAVE

Для захвата тела (в данном случае станка), перемещения и фиксирования его движения (трекинга) используется соответствующее программное обеспечение для компьютера (рис.7-б) и датчики движения (здесь использовалась система трекинга и костюм фирмы *ARTrack*). На рис.7-а показан общий вид такого костюма.

Таким образом, информационная технология *Capturing Motion* позволяет делать изменения в 3D модели и сохранять их, что имеет принципиальное значение для разработки проектов технологического перевооружения производства и управления такими проектами. На этой основе 3D – модель объекта в *CAVE* представляет собой полную копию проектируемого цеха, в которую можно вносить изменения на различных стадиях управления проектом технического перевооружения.

4. Заключение

Установлено, что новые методы моделирования технологических планировок оборудования при

использовании инверсных темплетов позволяют в сравнении с методом использования стандартных темплетов существенно экономить производственную площадь. Это позволяет в проектах технического перевооружения (реконструкции, модернизации) производства размещать на тех же площадях дополнительные станки и другое оборудование (систем управления, пультов ЧПУ, гидроагрегатов, промышленных роботов, накопителей заготовок и деталей, тактовых столов и т.д.). Сказанное обеспечивает наращивание в проектах технического перевооружения производства производственной мощности и объемов производства, расширение номенклатуры инновационной продукции и внедрение технологических инноваций.

Применение новой технологии *Capturing Motion* в сочетании с системами *Autodesk Inventor*, *Barco I-Space 4*, *ARTrack*, *NVIDIA 3D Vision Pro* в комнате виртуальной реальности класса *CAVE* позволяет осуществлять объемное макетирование реконструируемых цехов и производственных участков, что повышает наглядность и качество технологического проектирования.

Список используемых источников

1. Селиванов С.Г., Шайхулова А.Ф., Камалова Г.Ф. Методы инновационного проектирования технологического перевооружения машиностроительного производства. Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Deutschland. 2014.-300 с.
2. Арчибальд Р. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Рассел Д. Арчибальд; Пер. с англ. Мамонтова Е. В.; Под ред. Баженова А. Д., Арефьева А. О. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Компания АйТи ; ДМК Пресс, 2010. -464 с., ил.;
3. Туккель, И. Л. Управление инновационными проектами: учебник / И. Л. Туккель, А. В. Сурина, Н. Б. Культин / Под ред. И. Л. Туккеля. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 416 с.: ил.
4. Фролов К.В. (гл. ред.) Машиностроение. Том III-1. Технологическая подготовка производства. Проектирование и обеспечение деятельности предприятия. Энциклопедия/Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. — / А. В. Мухин и др.; Под общ. ред. А. В. Мухина. М.: Машиностроение, 2005. 576 с. ил.