

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАСПИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИИ И  
ИНЖИНИРИНГА ИМЕНИ Ш.ЕСЕНОВА**

**ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА**

**Кафедра «Нефтегазовое дело»**

**САДУЕВА Г.К.**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ  
по дисциплине «Механизация трубопроводного строительства»**

**Актау 2011 год**

УДК 621.6 (075.8)

ББК 39.7я73

М 55

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

А.У.Айткулов, доктор технических наук

С.Т.Закенов, доктор технических наук

Ю.М.Кулиев, доктор технических наук

М55 «Механизация трубопроводного строительства»: Учебное пособие/  
Г.К.Садуаева - Актау: КГУТиИ имени Ш.Есенова, 2011. - «Нефтегазовое дело».

ISBN 978-601-7276-99-7

Учебное пособие по дисциплине «Механизация трубопроводного строительства» предназначено для студентов специальности 5В070800 - «Нефтегазовое дело», имеет своей целью максимально помочь студентам при самостоятельной проработке курса «Механизация трубопроводного строительства» в изучении теоретической части дисциплины.

В учебном пособии изложены вопросы теории комплексной механизации строительства магистральных трубопроводов. Рассмотрены методы формирования, управления и определения области эффективности применения парка машин, а также методы выбора рациональных вариантов механизации. Рассмотрены методы построения сменных, суточных и годовых режимов работы машин и механизированных комплексов, а также методы определения их производительности. Отмечена специфика работы машин в трубопроводном строительстве, определяющая методологию оптимизации машинооснащения строительно-монтажных подразделений. Рассмотрены вопросы системного подхода при планировании развития комплексной механизации трубопроводного строительства.

Учебное пособие позволит активизировать познавательную и творческую деятельность студентов, организовать самостоятельную работу студентов в аудиторное и внеаудиторное время.

УДК 621.6 (075.8)

ББК 39.7я73

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом КГУТиИ им. Ш.Есенова

ISBN 978-601-7276-99-7

© КГУТиИ им. Ш.Есенова, 2011

## Содержание

Введение.....	5
Глава 1. Основные положения по технологии и организации трубопроводного строительства.....	6
Конструкция и схемы прокладки магистральных трубопроводов.....	6
Основные положения по организации строительства.....	8
Состав работ и методы их проведения.....	10
Глава 2. Использование машин.....	17
Машины для земляных и монтажных работ.....	18
Машины и оборудование для очистки и изоляции трубопроводов.....	27
Машины для подводно-технических работ.....	25
Машины для продувки и пневматического испытания трубопроводов.....	28
Глава 3. Механизация и автоматизация основных процессов сооружения магистральных трубопроводов.....	31
Основные понятия и система показателей механизации строительства на современном этапе развития технического прогресса.....	31
Механизация подготовительных работ.....	33
Механизация погрузочно-разгрузочных.....	35
Механизация земляных работ.....	37
Автоматизация и механизация сварочно-монтажных работ.....	40
Механизация изоляционно-укладочных работ.....	45
Комплекты машин и оборудования для очистки полости и испытания трубопроводов.....	47
Механизация трудоемких процессов и сокращение затрат ручного труда.....	49
Глава 4. Режимы работы и производительность машин и их комплектов.....	54
Специфика режимов работы машин в трубопроводном строительстве.....	54
Классификация времени использования комплектов машин в трубопроводном строительстве.....	57
Глава 5. Формирование парка машин и планирование развития механизации трубопроводного строительства.....	59
Методы определения потребности в строительных машинах.....	59
Формирование и распределение парка машин на основе механизированных трубопроводно-строительных комплексов.....	63
Страховое резервирование машин, узлов и агрегатов.....	68

Глава 6. Планирование развития комплексной механизации трубопроводного строительства.....	71
Особенности методологии планирования развития механизации трубопроводного строительства.....	71
Прогнозирование развития комплексной механизации и автоматизации строительства на базе системы машин.....	74
Планирование комплексной механизации и автоматизации трубопроводного строительства .....	77
Глава 7. Оптимизация машинооснащения.....	80
Системный подход к задачам оптимизации машинооснащения.....	80
Моделирование работы комплектов машин методами теории массового обслуживания.....	85
Имитационное моделирование работы механизированных комплектов.....	88
Список литературы.....	92

## Введение

Развитие топливно-энергетической базы определяет на современном этапе и будет определять в перспективе прогресс индустрии. Нефть, газ и продукты их переработки составляют основу топливного баланса страны, являются сырьем для производства полимеров и других продуктов газонефтехимии. Отсюда становится ясной причина бурного развития нефтегазовой промышленности. Освоение газонефтеносных месторождений, транспортировка добываемых продуктов и их переработка связаны с капитальным строительством объектов нефтяной и газовой промышленности, где ведущее место принадлежит сооружению магистральных трубопроводов. Их сооружение невозможно без мощной строительной техники, способной работать в сложных природно-климатических условиях.

Использование таких машин, как роторные экскаваторы, трубосварочных баз, полевых автосварочных установок, автоматизированных комплексов, трубогибочных станков дорнов, оборудования, изоляционной машины, комбайнов, плетевозов и другой специальной техники позволило успешно прокладывать трубопроводные магистрали диаметром до 1420 мм в самых сложных природно-климатических условиях.

Эти успехи во многом связаны с развитием комплексной механизации строительства. Механизация трубопроводного строительства — ключевой вопрос развития технического прогресса строительного производства. Проблема комплексной механизации и автоматизации трубопроводного строительства связана с решением множества теоретических и практических задач. Одна из сторон этой проблемы - специальные машины для сооружения магистральных трубопроводов, их устройство, принципы расчета и проектирование - довольно полно освещена в учебном пособии.

# ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

## Конструкция и схемы прокладки магистральных трубопроводов

Наиболее эффективным методом транспортировки нефти, газа и продуктов их переработки на дальние расстояния является перекачка по магистральным трубопроводам, протяженность которых ежегодно возрастает на 10-13 тыс. км. Постепенно образуются замкнутые трубопроводные магистральные системы, обеспечивающие направленное территориальное распределение перекачиваемых продуктов. В этих системах можно выделить два комплекса сооружений, которые по своей конструкции, технологии и организации строительства принципиально различны. К первому комплексу — линейной части— относятся линейно-протяженные объекты собственно трубопровода с лупингами и отводами, запорной арматурой, переходами через естественные и искусственные препятствия, компенсаторами, линиями связи и электропередачи, постоянными вдольтрассовыми дорогами, подъездными путями. Второй комплекс включает в себя объекты газо- и нефтепромыслов, насосные, компрессорные и газораспределительные станции, хранилища газа, нефти и нефтепродуктов.

Магистральные нефте- и газопроводы сооружают в основном из стальных труб диаметром 529, 720, 820, 1020, 1220 и 1420 мм, а нефтепродуктопроводы и отводы — из труб диаметром 168—529 мм [2]. Все более широкое применение, особенно для отводов, находят трубопроводы из полимерных материалов.

Эффективность трубопроводного транспорта во многом определяется рабочим давлением перекачиваемого продукта, допустимые значения которого зависят от материала и толщины стенки труб. До 1970 г. строились газопроводы с рабочим давлением 5,4 МПа, затем давление было повышено до 7,35 МПа. Ведутся работы по сооружению трубопроводов из труб, рассчитанных на рабочее давление 11,8—14,7 МПа. Это связано с применением для изготовления труб специальных дисперсионно твердеющих и термически упрочненных сталей с временным сопротивлением более 6 МПа.

Газопроводы, прокладываемые на заболоченных и обводненных участках, необходимо закреплять от всплытия анкерными устройствами, балластировочными пригрузами или грунтом (рис. 1).

В зависимости от условий работы магистральные трубопроводы подразделяют на четыре категории. Участки трубопроводов, расположенные вблизи компрессорных и насосных станций, на переходах через реки, железные и автомобильные дороги и другие ответственные участки, где авария может привести к тяжелым последствиям, относятся к I и II категориям, остальные — к III и IV.

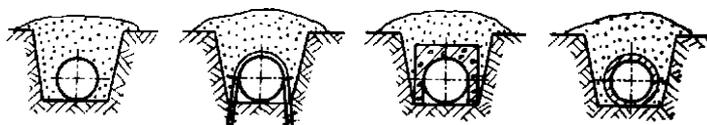


Рис. 1. Схемы закрепления трубопровода на проектной отметке  
а—грунтом; б — анкерными устройствами; в — пригрузамн; г — обетонированием

При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается надземная прокладка трубопроводов или их отдельных участков в пустынных, вечномерзлых и горных районах, а также на переходах через естественные и искусственные препятствия. Надземные трубопроводы монтируют на систему подвижных и неподвижных опор на свайном основании. Наименьшая высота опор — 0,5 м от поверхности земли.

Современный магистральный трубопровод — сложное инженерное сооружение, поэтому важнейшей задачей при его сооружении является обеспечение надежности на весь период эксплуатации.

Для предотвращения коррозионного разрушения трубопроводов применяют комплексную антикоррозионную защиту. Наружную поверхность стальных магистральных трубопроводов защищают специальными покрытиями. Для защиты трубопроводов диаметром 1020 мм и более при подземной укладке в основном используют полимерные покрытия, наносимые в полевых и стационарных (заводских и базовых) условиях, а для защиты подземных трубопроводов диаметром до 820 мм помимо полимерных используют битумно-резиновые покрытия. Противокоррозионная защита поверхности трубопроводов осуществляется также покрытиями на основе эпоксидных смол. Защиту надземных трубопроводов осуществляют алюминиевыми и цинковыми покрытиями толщиной не менее 200 мкм, жировыми смазками ВНИИСТ-2 и ВНИИСТ-4 толщиной 0,2—0,5 мм. Высокими защитными свойствами и универсальностью обладают эмалевые покрытия [3].

Для подземной, полуподземной и наземной (в насыпях) прокладки предусматривают два типа изоляционного покрытия: нормальное и усиленное. Применение покрытия усиленного типа предусмотрено на трубопроводах диаметром 1000 мм и более, а также на всех трубопроводах, прокладываемых:

- в районах Средней Азии, Казахстана,
- в болотистых, заболоченных и поливных почвах любого района страны;
- на подводных переходах и в поймах рек, а также на переходах через железные и автомобильные дороги;
- на территориях компрессорных, газораспределительных и насосных станций;
- на пересечениях с различными коммуникациями и по 20 м в обе стороны от них,
- на участках промышленных и бытовых стоков, свалок мусора и шлака;
- на участках блуждающих токов;
- на горячих участках трубопроводов (при температуре транспортируемого продукта более 40 °С);
- на участках нефтепроводов, нефтепродуктопроводов и трубопроводов сжиженных углеводородных газов, прокладываемых в пределах водосборной площадки на расстоянии менее 1000 м вдоль рек, каналов, озер, водохранилищ и границ населенных пунктов и промышленных предприятий.

Для защиты изоляционных покрытий от механических повреждений применяют обертки на полимерной основе, а также стекловолокнистый холст, бризол, гидроизол, меточную и ламинированную бумагу.

## Основные положения по организации строительства

Основой современных методов организации строительства является поточность. Преимущества поточных методов строительства магистральных трубопроводов, связаны с осуществлением следующих принципов: производства как единого целого, равномерности и одновременности проведения работ, специализации, минимума продолжительности проведения работ и минимума незавершенного производства.

Трасса трубопровода разбивается на участки, границы которых по возможности совмещают с естественными и искусственными преградами (реками, дорогами и т. п.), с тем, чтобы уменьшить число разрывов непрерывной нитки трубопровода. Для упрощения расчетов по определению границ участков равной продолжительности строительства профессором Л. Г. Телегиным введено понятие приведенной протяженности трассы, под которой понимается условная протяженность какого-либо трубопровода, соответствующая нормальным условиям проведения работ, равнинному рельефу местности, отсутствию болот, скальных грунтов, переходов через естественные и искусственные преграды, постоянно благоприятной погоде [4]. На каждом участке трассы функционируют частные потоки — элементарные строительные или монтажные потоки— отражающие последовательное выполнение одного процесса на ряде захваток, которые рассматриваются в качестве единицы готовой продукции данного потока. Совокупность частных потоков, объединенных едиными технологической схемой и параметрами, а также общей продукцией, составляет специализированный строительный поток.

Специализированные потоки объединяются в объектный поток, продукция которого — законченный объект. На сооружении важнейших магистральных трубопроводов работают скоростные линейные объектные строительные потоки (ЛОСП), осуществляющие производственный цикл линейной части магистрального трубопровода или его участка. Каждый процесс выполняется машиной или специальным комплектом машин, увязанных по производительности с параметрами специализированного потока [6,7].

Закономерности организации поточного строительства трубопроводов определяют организацию работы комплектов машин и формирование их парков. В свою очередь, технические параметры машин, их эксплуатационные особенности и экономически целесообразная область применения оказывают решающее воздействие на функционирование потоков и технико-экономические показатели строительства. Совокупность комплектов машин специализированного потока составляет механизированный комплекс. Современные поточно-скоростные методы строительства базируются на применении укрупненных механизированных комплексов, включающих 300 и более машин, механизмов и транспортных средств.

Организация строительства магистралей большой протяженности предусматривает разбивку их на районы, включающие четыре-пять линейные объектные строительные потоки (ЛОСП).

В современной организационной структуре строительства магистральных трубопроводов важнейшая роль в организации поточного строительства

возлагается на комплексные строительно-монтажные тресты. В их состав входят специализированные управления по проведению земляных, сварочно-монтажных и других работ. На базе этих управлений формируются трубопроводно-строительные комплексы, число, оснащенность машинами и механизмами и производственная мощность которых зависят от объемов и структуры планируемых тресту строительно-монтажных работ [9].

Решение вопросов организации и управления строительством непосредственно на объекте поручают следующим производственным и функциональным службам:

1. информационно-диспетчерской, осуществляющей сбор и обработку оперативной информации и ходе строительства, подготовку и передачи оперативных решений;
2. контроля качества, которая проводит входной, технологический (пооперационный) и приемочный контроль, лабораторное и геодезическое обслуживание, ведет учет качества выполнения работ и затрат на исправление брака;
3. транспорта (автомобильного, воздушного, водного);
4. эксплуатации и ремонта строительной техники, осуществляющей техническое обслуживание, техническое диагностирование, текущие и аварийные ремонты машин;
5. снабжения;
6. быта (жизнеобеспечения), которая занимается обустройством жилых городков и обеспечением питания, бытового, медицинского и культурного обслуживания.

На подготовительном этапе осуществляют геодезическую разбивку трассы, отвод земель, устройство складов, производственных и ремонтно-эксплуатационных баз, строительство дорог и подъездов, обустройство жилых городков. Все перечисленные работы, предшествующие непосредственному проведению строительно-монтажных работ по сооружению трубопроводов, должны выполнять специализированные подразделения [10, 11]. Следующий цикл работ подготовительного этапа, включает в себя перевозку труб на базы, сварку их в секции, а в ряде случаев изоляцию секций труб в базовых условиях, инженерную подготовку строительной полосы, сооружение переходов под дорогами и на сложных участках трассы (овраги, мелкие водотоки), мероприятия по отводу воды цель, которых обеспечение беспрепятственного продвижения основного строительного потока с минимальными простоями техники.

Затем выполняют основные работы: разработку траншей, монтаж трубопровода, его укладку и засыпку с возведением валика, сварку арматуры и катушек и другие. Завершающие работы включают в себя очистку полости, испытания и сдачу трубопровода. В зависимости от природно-климатических условий основные и завершающие работы выполняют либо в едином потоке, либо как два самостоятельных потока.

Современная технология строительства магистральных трубопроводов в отличие от других видов строительного производства характеризуется:

- применением комплексных процессов (например, работы по очистке, изоляции и укладке трубопроводов);

- использованием в трассовых условиях процессов и операций, характерных для машиностроительного производства (механическая и термическая обработка торцов труб, автоматическая сварка секции в нитку и др.);
- сравнительно (для строительного производства) жесткой системой допусков на выполнение отдельных операций и системой пооперационного контроля с использованием сложной контрольно-измерительной аппаратуры.

Важное направление развития технологии строительства — максимальное перенесение с трассовых условий в заводские и базовые таких процессов, как изоляция труб, сварка и контроль стыков секций труб. Вместе с тем непосредственно на трассе возрастает число процессов и операций, присущих машиностроению, что объективно обусловлено использованием высокопрочных труб большого диаметра из легированных сталей.

Тенденции развития технологии определяют использование на трассе сложных машин и контрольно-измерительной аппаратуры, выполнение технологических процессов комплектации машин из десяти и более различных моделей, строго согласованных по производительности и тесно связанных технологически при выполнении смежных процессов и операций. Высокая технологическая культура становится неотъемлемым условием качества, темпов и экономичности строительства.

Техническая документация по технологии и организации сооружения конкретного трубопровода сосредоточена в проектах организации строительства (ПОС) и проектах производства работ (ППР). ПОС — составная часть документации, разрабатываемой проектной организацией. Она включает в себя сводный календарный план строительства, календарный план работ подготовительного периода, сводную ведомость объемов работ, ведомости объемов работ подготовительного периода, ведомости материалов, полуфабрикатов и оборудования, стройгенплан магистрального трубопровода с указанием его участков и всех постоянных и временных сооружений, графики работы линейных подразделений, пояснительную записку. ППР разрабатывается в развитие ПОС Оргнефтегазстроем при участии строительных организаций. Он содержит календарный план строительства работ по объектам и комплексам, графики поступления материалов и оборудования, движения рабочих по профессиям, работы машин и их комплектов, стройгенплан, технологические карты наиболее сложных участков, рабочие чертежи временных зданий и сооружений, решения по технике безопасности, пояснительную записку. ПОС и ППР должны отвечать требованиям действующих строительных норм и правил, включать прогрессивные технологические и организационные решения.

### **Состав работ и методы их проведения**

Качество и темпы строительства во многом зависят от культуры строительного производства, которая закладывается на этапе инженерной подготовки трассы. Специфика работ по инженерной подготовке трассы линейно протяженных объектов заключается в том, что они начинаются со значительным

опережением основного потока и ведутся на протяжении всего периода строительства.

Выполнение подготовительных работ с рациональным опережением при широком диапазоне их объемов и структуры работы— сложная организационная задача, которую приходится решать в каждом конкретном случае. Сложность состоит еще и в том, что объемы и структура работ могут колебаться в широких пределах в зависимости от метеорологических условий (осадки, температура воздуха, высота отметок паводковых вод и т. д.) в период проведения работ, так как это не всегда поддается точному предварительному расчету.

Первый этап инженерной подготовки трассы включает в себя обследование трассы и уточнение ее разбивки, проведенной в период изысканий, разбивку горизонтальных углов, определение границ криволинейных вставок, переходов, пересечений коммуникаций. Следующий этап подготовительных работ — расчистка от леса и кустарника. В состав этих работ входят следующие основные операции: валка деревьев, срезание кустарника и подлеска, обрубка сучьев, формирование воя и трелевка хлыстов к штабелям или за пределы полосы отвода, раскряжевка и разделка хлыстов, транспортировка леса к пунктам его переработки или сдачи; корчевка пней и расчистка трассы от валунов; уборка отходов или их уничтожение; сдача леса.

Трелевочные работы состоят из следующих операций: движение трактора порожняком и маневрирование в лесу, протаскивание тягового троса к трелируемым деревьям.

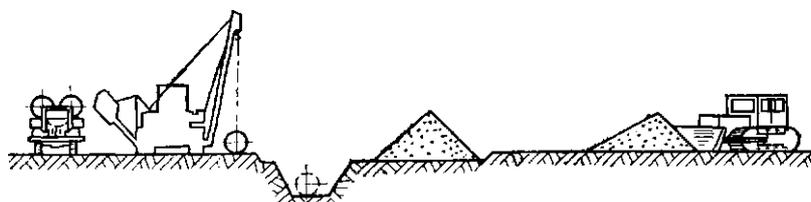


Рис. 2. Схема полосы отвода

Планировка полосы отвода осуществляется с целью выравнивания продольного профиля трассы, необходимого для качественного выполнения последующих строительных процессов. Объемы планировочных работ зависят от рельефа местности и в меньшей степени от диаметра сооружаемого трубопровода. В состав работ входит выравнивание микрорельефа со срезкой продольных и поперечных уклонов, засыпкой ям и низинных мест. На косогорах с поперечным уклоном более  $8^\circ$  устраивают полки с подъездными путями [6].

Ширина полосы отвода включает вдольтрассовую дорогу, зоны раскладки труб (секций), траншеи, отвалы минерального и плодородного грунта, зоны работы машин и технологические зазоры (рис.2, табл. 1).

Расчетная ширина полосы отвода (СН 457—73)		
Диаметр трубопровода, мм	Размеры отвода земель (в м)	
	без технической рекультивации	с технической рекультивацией
До 426	20	28
529-720	23	33
820—1020	28	39
1220	30	42
1420	32	45

Примечание. Техническая рекультивация земель заключается в снятии плодородного слоя почвы до начала строительных работ, транспортировке его к месту временного хранения и восстановлении после окончания работ. При разработке и восстановлении плодородного слоя не допускается смешивание его с минеральным грунтом.

В состав подготовительных работ входит устройство временных дорог и подъездных путей. Наиболее эффективными являются сборно-разборные покрытия дорог из деревянных щитов, позволяющие использовать индустриальные методы строительства и механизировать процесс укладки. Применяют также специальные синтетические покрытия дорог. При устройстве дороги расчищают полосу под нее (минимальная ширина 6,5 м), отсыпают, планируют и уплотняют основание дороги, устраивают настилы из щитов, бревен или специальных материалов, отсыпают и разравнивают грунт (щебень, гравий) на настиле, устраивают дренажи, водоотводы, сооружают мосты.

При строительстве зимников технология и организация работ подчинены сезонности. До начала зимы производят выбор и разбивку трасс дорог и максимально возможные работы по инженерной подготовке их, с тем чтобы в кратчайшие сроки провести основные работы по формированию и намораживанию дорожного полотна.

Транспортные и погрузочно-разгрузочные работы включают в себя разгрузку труб, линейной арматуры и материалов с железнодорожных платформ, барж, судов, их складирование, перевозку на базы и непосредственно на трассу. Перевозку грузов осуществляют по заранее разработанной транспортной схеме, согласованной с планом проведения основных работ, графиком поставки грузов и обеспечивающей рациональную загрузку транспортных средств и минимальное число холостых рейсов. Секции труб раскладывают вдоль трассы под углом к оси траншеи на расстоянии 1 м от края будущей траншеи. Важнейшее требование к перевозке труб — предохранение их поверхности от рисков и задиров и сохранение геометрической формы.

Переходы под железными и автомобильными дорогами сооружают бестраншейным или открытым способом. Наиболее эффективен бестраншейный способ, так как в этом случае не надо прекращать движения по дорогам. Поскольку переходы сооружают с опережением основных работ, сначала производят разметку расположения кожуха, затем отрывают рабочий и приемный котлованы, монтируют, изолируют и испытывают секцию трубопровода. Кожух

прокладывают методами горизонтального бурения, продавливания или прокалывания. По мере погружения кожуха в грунт его наращивают путем сварки секций. После проведения этой операции внутри кожуха прокладывают секцию трубопровода, монтируют уплотнения и вытяжные свечи. Концы трубопровода закрывают временными заглушками.

Трубопровод монтируется в непрерывную нитку путем постепенного наращивания труб или двух-трех трубных секций. В отечественной практике преобладает базовый способ проведения сварочно-монтажных работ, при котором на трубосварочных базах поворотной или контактной сваркой получают трехтрубные секции. Затем секции транспортируют на трассу и сваривают в непрерывную нитку. В горных районах, а также на участках с большой плотностью искусственных преград (дорог, подземных коммуникаций) трубопроводы монтируют из отдельных труб или двухтрубных секций.

Подготовка труб к сварке заключается в очистке их от грунта и снега, контроле геометрических размеров, правке вмятин или отрезке дефектного кольца, зачистке или механической обработке торцов, а при контактной сварке — зачистке кольцевых поясов под контактные башмаки, подогреве труб до 200 °С при ширине кольца подогрева 150 мм.

Монтаж трубопровода осуществляется на инвентарных опорах, составляемых из брусьев длиной 1 м и сечением 150x150 мм. Высота опор 30—60 см. Секцию из трех труб укладывают на две опоры, а криволинейную в плане — на три опоры.

Гнутье труб для криволинейных участков трассы осуществляют на базе или трассе перед монтажом секций в нить. Последний метод более предпочтителен, поскольку гнутье на месте проведения работ способствует лучшему прилеганию трубопровода ко дну траншеи.

В трубопроводном строительстве применяют в основном следующие виды сварки: ручную дуговую, под слоем флюса, в среде углекислого газа, порошковой проволокой, электроконтактную. Ручная дуговая сварка — пока еще основной метод соединения секций труб в нитку. Благодаря возможности расчленения сварных операций она позволяет достичь высоких темпов монтажа трубопровода. Сварку под слоем флюса широко применяют для монтажа труб в секции на трубосварочных базах. Ее выполняют в верхнем положении при вращении соединяемых труб, что ограничивает применение этого способа, но позволяет автоматизировать процессы двусторонней (наружной и внутренней) сварки. Данный способ применяют также для полуавтоматической сварки, когда прихватку и первый слой сваривают ручными способами, а заполняющие слои — автоматизировано [5].

Сварку в среде углекислого газа используют на сварочных базах для сварки первого шва и неповоротной сварки трубопровода на трассе, причем оба процесса поддаются автоматизации. Этот способ позволяет расчленить процесс сварки и тем самым достичь высокой производительности труда. Электроконтактную сварку применяют на базах для сварки труб в секции и на трассе для сварки труб и секций в нитку. Сущность процесса заключается в нагреве и непрерывном оплавлении торцов труб за счет электрических контактов, а затем осадки под давлением оплавленных труб. После этого шов механически очищают от грата.

Поскольку сварку осуществляют сразу по всему периметру и всей толщине стенки труб, электроконтактный метод высокопроизводителен. Эффективность его обуславливается также тем, что для осуществления данного метода не требуется никаких сварочных материалов.

Сваренные стыки подлежат контролю, который осуществляется радиомагнитографическими или ультразвуковыми методами.

Траншею разрабатывают одним из следующих способов:

1. рытье на полный профиль за один проход роторного экскаватора;
2. дифференцированная разработка траншеи роторными экскаваторами методами последовательного углубления и последовательного расширения траншеи;
3. рытье на полный профиль одноковшовыми экскаваторами;
4. предварительная разработка траншеи бульдозерами на глубину 0,5—1 м с последующим рытьем до полного профиля одноковшовыми экскаваторами;
5. разработка полного профиля траншеи взрывом на выброс;
6. последовательная разработка траншеи в сыпучих грунтах бульдозерами или скреперами.

Представляется перспективной разработка траншей по обе стороны лежащего на поверхности земли трубопровода с целью его опуска за счет собственной массы (бесподъемная укладка).

Рытье траншей на прямолинейных участках со спокойным рельефом в грунтах до IV категории включительно и мерзлых грунтах при глубине промерзания до 1,2 м, а также на криволинейных участках, с радиусом естественного изгиба трубопровода производят роторными экскаваторами. При поточно-скоростных методах строительства для повышения темпов разработки траншеи применяют дифференцированные способы, позволяющие избежать образование перемычек, получаемых при разработке на полный профиль при способе захваток, и улучшить использование землеройной техники.

На криволинейных участках с радиусом кривых 30—50D в любых грунтах, а также на участках с пересеченным рельефом, в болотистых, сыпучих, скальных и мерзлых грунтах рытье траншей осуществляют одноковшовыми экскаваторами. Эти экскаваторы работают захватками, длина которых определяется темпом потока. Мерзлые и скальные грунты предварительно разрыхляют взрывом или рыхлителями, а на дне траншеи делают мягкую подсыпку толщиной не менее 10 см.

Взрывом на выброс разрабатывают траншеи на болотах, а также на болотах всех типов в тех местах, где предусмотрена прокладка трубопровода методом сплава или протаскивания.

Для улучшения качества укладки трубопроводов диаметром 1020 мм и выше дно траншеи нивелируют через каждые 50 м на прямых участках трассы, через 10 м — на естественных кривых и через 2 м — на кривых принудительного гнутья. При сооружении трубопроводов меньших диаметров нивелируют только сложные участки трассы.

На предварительно спланированной полосе под траншею сначала размечают участки, подлежащие разработке различными способами. Схема

разбивки основывается на максимально возможном применении роторных экскаваторов, позволяющих получать высокое качество профиля траншеи, и на применении на различных участках трассы способов, позволяющих синхронизировать разработку траншеи с изоляционно-укладочными работами. Изоляционно-укладочные работы при трассовом методе нанесения изоляционного покрытия выполняют по двум схемам: совмещенной и отдельной. Совмещенная схема объединяет три операции: очистку трубопровода, нанесение изоляционного покрытия и укладку трубопровода в проектное положение. При отдельном способе очищенный и изолированный трубопровод сначала укладывают на бровку траншеи, а затем в проектное положение. При сооружении трубопровода из труб, изолированных на заводе или базе, процесс заключается в очистке и изоляции стыков труб и последующей укладке трубопровода в проектное положение.

Изоляционно-укладочные работы включают в себя следующие основные операции:

- очистку наружной поверхности трубопровода от грязи, ржавчины, неплотно соединенной окалины, влаги;
- контроль степени очистки;
- нанесение грунтовок;
- нанесение изоляционного и оберточного покрытий; контроль качества нанесения покрытий (сплошности, прилипаемости, толщины покрытий);
- укладку трубопровода в проектное положение; контроль уложенного участка.

В зависимости от конструкции трубопровода и условий проведения работ иногда возникает необходимость в выполнении дополнительных операций: приготовлении праймера, битумно-резиновой мастики, подогреве изоляционных материалов, футеровке трубопровода, закреплении трубопровода анкерами или пригрузами.

Уложенный трубопровод засыпают грунтом из брусчатки и устраивают над ним валик. Если в брусчатке содержатся твердые (скальные, вечномёрзлые и др.) включения, трубопровод сначала засыпают мягким грунтом толщиной не менее 20 см над верхней образующей трубопровода.

Для проведения электрохимической защиты сооружают катодные станции, протекторные и дренажные устройства. Работы по устройству катодной защиты включают в себя сооружение катодных станций, заземлений, линий питания и катодного вывода. При сооружении протекторной защиты проводят подготовительные работы по разбивке пунктов установки протекторов, транспортировке и раскладке протекторов и материалов, устраивают скважины диаметром 20—30 см на глубину, превышающую глубину промерзания грунта, прокладывают соединительный кабель, устанавливают протекторы, проводят электромонтажные работы. В состав работ по установке электродренажных устройств входят подготовительные работы с уточнением отметок прокладки дренажного кабеля и точек подключения дренажной установки к трубопроводу, устройство фундамента, прокладка дренажного кабеля, монтаж станции, устройство подсоединений и ограждения [6].

Очистку полости и испытания на прочность и герметичность проводят после укладки и закрепления трубопровода в проектное положение. До начала

испытаний полость трубопровода должна быть очищена от ржавчины, окалины, грунта, льда, снега и посторонних предметов. Очистку полости и испытания проводят по участкам, протяженность которых зависит от расстояния между линейной арматурой, расположения мест водозабора и водосброса, границ объектных потоков, рельефа местности и др. Очистку полости проводят одним из следующих способов:

1. продувкой с пропуском металлических очистных поршней или эластичных разделителей;
2. продувкой без пропуска очистных устройств;
3. протягиванием очистных устройств с металлическими щетками или скребками и эластичными манжетами с последующей продувкой без пропуска поршня или промывкой;
4. промывкой с пропуском эластичных разделителей.

Очистку полости подземных трубопроводов методом протягивания очистных устройств проводят в процессе монтажа трубопровода в непрерывную нитку, а надземных — в процессе монтажа секций до их укладки на опоры. После очистки протягиванием проводят продувку трубопровода.

Если процесс очистки осуществляется при положительной температуре воздуха, продувка ведется без пропуска очистных устройств, если при отрицательной, — то с пропуском очистных устройств.

Трубопроводы испытывают пневматическим или гидравлическим способом. Пневматические испытания проводят воздухом от компрессоров и, как исключение, газом. Комплекс работ по пневматическому испытанию трубопровода включает в себя следующие этапы:

1. подготовку к испытанию;
2. наполнение трубопровода природным газом или воздухом до создания в нем давления, необходимого для испытания на прочность;
3. испытание на прочность;
4. снижение испытательного давления на прочность до максимального рабочего;
5. проверку на герметичность.

Испытываемый участок отключают от смежных сферическими заглушками или линейной арматурой.

Заполнение трубопровода и подъем в нем давления можно производить как по отдельным участкам, так и по всему объекту. Сначала давление поднимают до 0,3 от испытательного, но не выше 1,96 МПа и при этом давлении осматривают трассу. Если утечек не обнаружено, производят подъем давления до испытательного. Под этим давлением трубопровод выдерживают в течение 6 ч при открытых кранах обводных линий и закрытых линейных кранах.

## ГЛАВА 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИН

Улучшение использования парка строительных машин — один из основных резервов повышения производительности и эффективности строительного производства. Чем больше механизированы работы, тем большее значение приобретает уровень использования строительной техники. В трубопроводном строительстве при сооружении линейной части магистральных трубопроводов работы механизированы на 98,5—99,6 %, имеются большие резервы повышения производительности за счет улучшения использования машин [5,6].

Многогранность понятия об использовании машин определяет разносторонний подход к определению показателей его степени. Можно выделить следующие основные категории оценки использования машин: по времени, выработке, мощности, эффективности затрат на приобретение эксплуатации строительной техники (стоимостные показатели). Характеристика использования машин по времени определяется совокупностью показателей, отражающих удельный вес работы и перерывов в работе машин за различные периоды времени. Поскольку во время работы машины не всегда загружены на полную мощность и не всегда загрузка машин на определенную мощность дает одинаковые результаты, в качестве показателя использования машин принимают результат их работы — выработку продукции в единицах физической величины за определенный период времени (год, смена, час).

Эффективность затрат на приобретение и эксплуатацию строительной техники характеризуется показателями фондоотдачи с активной части основных производственных фондов, уровнем рентабельности и производительности труда. Возведение сооружений укрупненными механизированными комплексами ставит задачу определения их производственной мощности, которая характеризует потенциальные возможности использования машин. Следовательно, каждая категория оценки рассматривает определенную сторону использования машин. Важность правильного планирования и учета использования машин подчеркивают видные ученые в области механизации строительства. Н. Г. Домбровский [7] отмечал, что существующие формы отчетности, в частности формы 1-НТ и 25КС, совершенно не отвечают своему назначению, так как в них отсутствуют такие показатели, как время чистой работы и распределение простоев. П. А. Зимин [10], анализируя практику заполнения сменных рапортов машинистов как основы первичного учета, указывал на несвоевременность заполнения, а в ряде случаев на отсутствие рапортов, неточности в указании выработки, продолжительности работы и причин простоев. Информация, которую должна содержать отчетность по использованию машин, необходима для строительства, технического обслуживания, ремонта машин и т. д. Без достаточной полноты и достоверности такой информации невозможно внедрение автоматизированных систем управления строительством и эксплуатацией парка машин. Многолетняя практика показала, что извлечь необходимую информацию из имеющейся отчетности по использованию машин довольно сложно.

## Машины для земляных и монтажных работ

В состав работ по подготовке строительной полосы вдоль трассы будущего магистрального трубопровода входят валка леса, корчевка пней и кустарника, удаление крупных камней, срезка бугров и засыпка впадин земель, сооружение полок на склонах, возведение насыпей на болотах. Это делается для того, чтобы обеспечить последующую нормальную работу специальных строительных машин. Сейчас наиболее трудоемкие из этих видов строительных работ механизированы и выполняются при помощи высокопроизводительных машин, представляющих собой навесное оборудование на тракторы: бульдозеров, кусторезов, корчевателей-собирателей и рыхлителей. Эти строительные машины общего назначения применяются также при строительстве дорог, прокладке просек, мелиоративных работах и т. д.

Бульдозер — основная машина для подготовительных работ (рис.3 *а, б*). Он применяется для планировки местности, срезки бугров, засыпки ям и траншей, перемещения грунта на небольшие расстояния (до 100 м). Бульдозер может быть использован для валки деревьев с корнями, корчевания пней и кустарников. В зимнее время его применяют для расчистки дорог и площадок от снега. Возможность выполнения бульдозером многих трудоемких работ наряду с простотой, прочностью и надежностью конструкции сделали его самой широко распространенной общестроительной машиной.

Бульдозер состоит из базовой машины (трактора) и специального навесного рабочего оборудования (отвала с рамой или толкающими балками).

По способу установки отвала относительно оси трактора различают бульдозеры неповоротные и универсальные (поворотные).

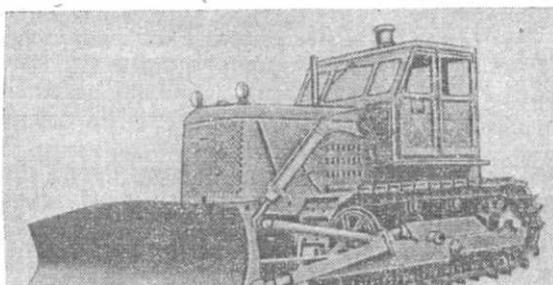
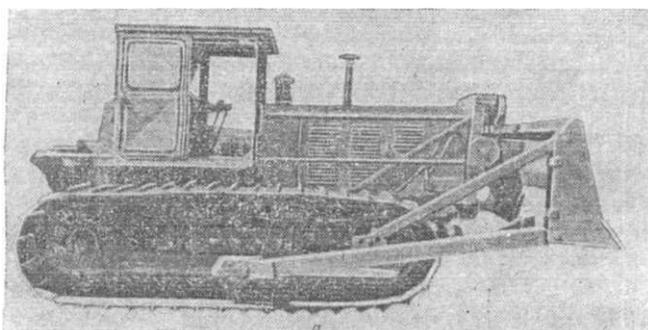


Рис.3 Бульдозер: а — с канатоблочной системой управления отвалом;  
б — с гидравлическим управлением отвалом.

Кусторезы предназначены для срезки кустарника и мелколесья при подготовке строительной полосы.

Наибольшее распространение получили кусторезы отвально-ножевого типа с прямыми ножами. Их конструкция характеризуется простотой, прочностью и надежностью в работе.

Корчеватели-собиратели предназначены для корчевания и уборки со строительной полосы пней, корней, камней, кустарника и мелкого леса, срезанного кусторезами или другими машинами.

Подобно бульдозеру и кусторезу корчеватель-собиратель является навесным оборудованием к трактору и отличается от них конструкцией отвала. Отвал корчевателя состоит из щита с коробчатой жесткой рамой, выполненной из сварных балок коробчатого сечения.

Рыхлители предназначены для предварительной разработки плотных и мерзлых грунтов, заключающейся в разрушении этих грунтов на куски подлежащие дальнейшей разработке бульдозерами, экскаваторами, скреперами и другими машинами, в комплексе с которыми работают рыхлители.

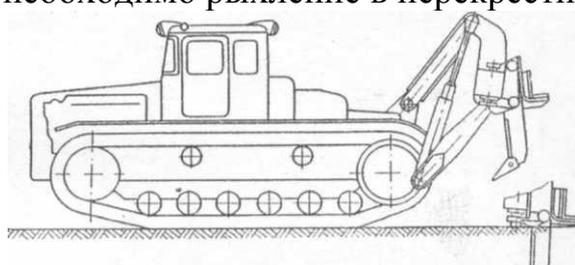
Рыхлители также удаляют из грунта крупные камни, выкорчевывают пни, взламывают дорожные покрытия при ремонте дорог.

Рыхлитель (рис.4) состоит из тягача и расположенного сзади тягового рабочего органа прицепного или навесного типа. Рыхлители навесного типа более маневренны, чем прицепного и обладают меньшим весом, так как для заглубления рабочего органа используется часть веса тягача.

Прицепные рыхлители имеют, как правило, канатную систему управления, а навесные — гидравлическую.

После обработки рыхлителем горная порода оказывается подготовленной для перемещения ее бульдозером. При этом в грунтах с большим числом трещин бывает достаточно прорезать только продольные или поперечные параллельные резы на расстоянии друг от друга, равном двум глубинам одного реза.

В плотных же породах необходимо рыхление в перекрестных направлениях.



*Рис.4 Рыхлитель.*

Одноковшовые экскаваторы представляют собой машины, предназначенные для разработки траншей и котлованов. Одноковшовые экскаваторы являются машинами общестроительного назначения, применяемыми при строительстве магистральных трубопроводов.

Рабочий процесс экскаватора состоит из следующих операций: рабочего хода (копания) ковша, поворота стрелы и выгрузки ковша, холостого (обратного) хода ковша и перемещения самого экскаватора по мере разработки траншеи.

Рабочее, силовое и вспомогательное оборудование, основная часть трансмиссии, механизмы управления, а также кузов экскаватора расположены на платформе. Она опирается на ходовую часть экскаватора при помощи

опорноповоротного устройства и может поворачиваться в горизонтальной плоскости.

Большинство одноковшовых экскаваторов выпускается полноповоротными. В последнее время получили широкое применение также неполноповоротные экскаваторы малой мощности, выполненные как оборудование с гидравлическим приводом на гусеничных и колесных тракторах.

По конструкции ходового оборудования экскаваторы, применяемые для строительства магистральных трубопроводов, разделяются на гусеничные и пневмоколесные, по силовому оборудованию — на дизельные и комбинированные: дизель-электрические и дизель-гидравлические.

Главным параметром экскаватора принят объем его ковша. На строительстве трубопроводов в основном получили распространение экскаваторы с емкостью ковша от 0,1 до 0,6 м<sup>3</sup>.

Оборудование драглайна предназначено для выполнения тех же работ, что и обратная лопата. В нем соединение ковша с остальными элементами экскаватора выполнено гибким, что ограничивает применение оборудования

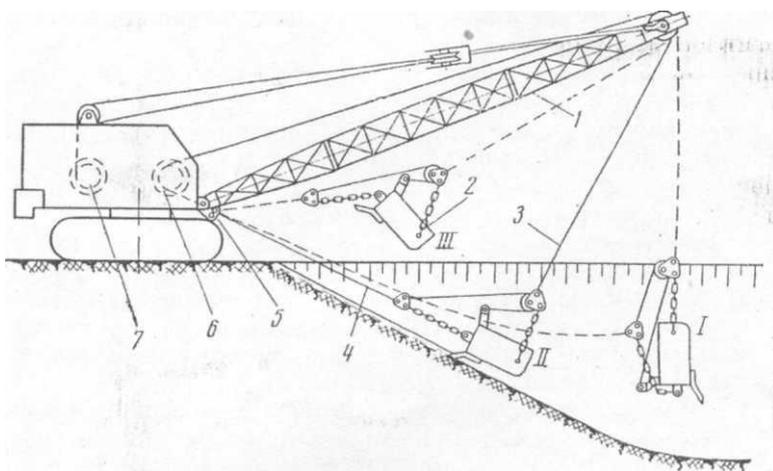


Рис. 5. Схема работы драглайна

однако позволяет разрабатывать более глубокие траншеи и котлованы и увеличивает радиус выгрузки грунта.

Оборудование драглайна включает более длинную, чем у обратной лопаты, стрелу 1 (рис.5), выполненную в виде легкой фермы, ковша 2, подвешенного к стреле на подъемном канате 3, проходящем через блок в головной части стрелы на подъемный барабан лебедки 6, и соединенный тяговым канатом 4 с тяговым барабаном той же лебедки. По пути на барабан лебедки тяговый канат проходит через обойму направляющих блоков.

Грейфер применяется реже, чем обратная лопата и драглайн, ввиду меньшей производительности. Например, при одинаковой емкости ковша он примерно в два раза менее производителен, чем драглайн.

Основное достоинство грейфера состоит в том, что он разрабатывает грунт точно под головой стрелы. Поэтому он удобен при перегрузке сыпучих и

кусковых материалов и часто незаменим при разработке глубоких котлованов с отвесными стенками и под водой на плаву. Грейфер может производить выгрузку на большой высоте, который придает ковшам не столько по соображениям повышения их прочности, сколько для обеспечения более надежной работы и лучшего наполнения грунтом.

Оттяжное устройство предназначено для стабилизации положения ковша и предохраняет его от чрезмерного раскачивания и закручивания замыкающего и поддерживающего канатов, так как такое закручивание может сделать ковш неуправляемым. Сущность устройства состоит в том, что специальный удерживающий канат прикреплен одним концом к ковшу, а другим — к пружинному механизму или противовесу, укрепленному на стреле.

*Цепной траншейный экскаватор* — самоходная землеройная машина непрерывного действия, снабженная рабочим органом в виде бесконечной цепи с навешенными на нее на определенном расстоянии друг от друга ковшами (рис. 6).

Ковшовая цепь монтируется на специальной наклонной или вертикальной подъемной раме, расположенной в задней части тягача.

Вследствие большого количества шарнирных соединений цепной рабочий орган обладает сравнительно меньшей жесткостью, более подвержен износу и способен работать на меньших скоростях, чем роторный.

*Роторным траншейным экскаватором* называется самоходная землеройная машина, оснащенная рабочим органом в виде жесткого колеса (ротора) с расположенными по его периметру ковшами и предназначенная для рытья траншей определенного профиля.

Роторные траншейные экскаваторы благодаря жесткой конструкции своего рабочего органа способны разрабатывать более плотные грунты (например, разборную скалу), чем цепные.

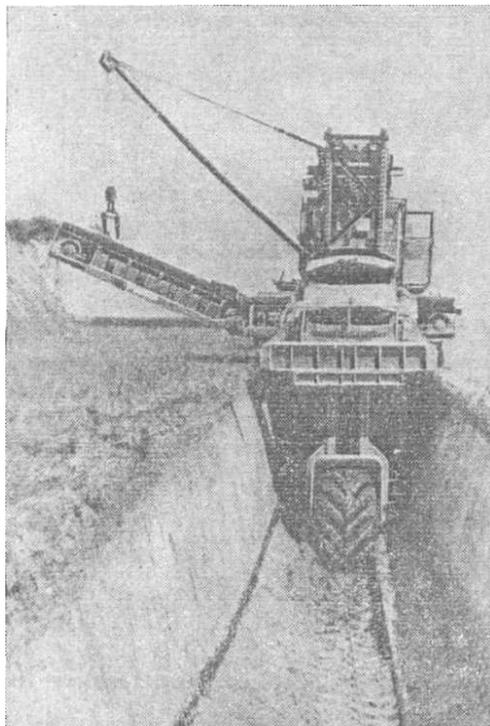
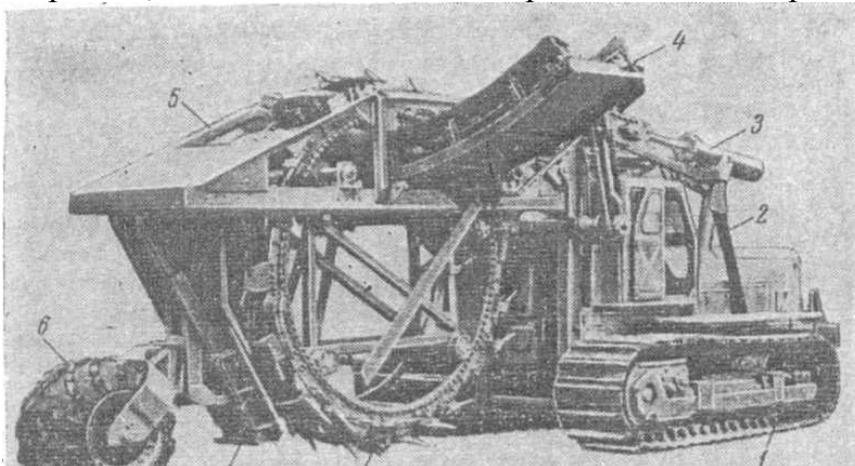


Рис.6. Разработка траншеи

Роторный траншейный экскаватор, как уже было сказано выше, состоит из двух основных агрегатов: тягача и рабочего органа (рис. 7). Тягач представляет собой переоборудованный промышленный трактор, оснащенный дополнительно жесткой сварной рамой, называемой основной рамой экскаватора.



*Рис. 7. Роторный траншейный экскаватор ЭР-7АМ: 1 — тягач; г — рама экскаватора; з — механизм подъема рабочего органа; 4 — транспортер; 5 — рама ротора; 6 — задняя опора; У — подборный щит; 8 — ротор.*

В задней части основной рамы имеются прямолинейные или криволинейные направляющие, на которые устанавливаются с возможностью перемещения вдоль них ползуны. К ползунам шарнирно монтируется передний конец рамы рабочего органа. На основной раме экскаватора располагается механизм подъема рабочего органа, состоящий из двух силовых гидроцилиндров, корпус которых крепится к раме, а штоки оканчиваются подвижной обоймой с зубчатыми звездочками. Через звездочку первого гидроцилиндра перекинута пластинчатая цепь, один конец которой закреплен на раме экскаватора, а другой, огибая отклоняющую звездочку, укрепленную на валу, вращающемся в неподвижных кронштейнах рамы, соединен с ползуном. При втягивании или выдвигании штока гидроцилиндра цепь соответственно поднимает или опускает ползун, а с ним и передний конец рамы рабочего органа. При этом ход ползуна в два раза превышает ход штока. Укрепленный рядом с первым второй гидроцилиндр при помощи аналогичной передачи поднимает заднюю часть рамы рабочего органа. Если экскаватор выполнен по схеме навесного рабочего органа, то передняя часть рамы ротора имеет небольшой ход. Подъем и опускание рабочего органа производится в основном за счет поворота рамы ротора в вертикальной плоскости вокруг шарниров в ползунах. При этом ротор для достижения транспортного положения приподнимается и повисает над землей, полностью передавая свой вес на ходовую часть тягача [2].

Трубы и плети в процессе строительства магистральных трубопроводов перевозятся специальными автомобильными и тракторными поездами, которые в зависимости от длины транспортируемых труб делятся на трубовозы и плетевозы.

В качестве трубовозов в основном применяются автопоезда, а в качестве плетевозов — как автомобильные, так и тракторные поезда. Трубовозом называется автопоезд, предназначенный для перевозки труб длиной до 12 м.

ТРУБОВОЗЫ В ОСНОВНОМ ПЕРЕВОЗЯТ ТРУБЫ ОТ МЕСТ ИХ РАЗГРУЗКИ ИЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ИЛИ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА ДО МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ТРУБОСВАРОЧНЫХ БАЗ, ГДЕ ОТДЕЛЬНЫЕ ТРУБЫ СВАРИВАЮТ В ПЛЕТИ ДЛИНОЙ ДО 48 м. Дорожные условия в этих случаях, как правило, лучше, чем на последующем этапе — перевозке плетей от сварочной базы до строительной полосы, совершаемой плетевозами.

ТРУБОВОЗЫ МОГУТ ПЕРЕДВИГАТЬСЯ С БОЛЬШИМИ СКОРОСТЯМИ, ЧЕМ ПЛЕТЕВОЗЫ, ДОЛЖНЫ БЫТЬ БОЛЕЕ МАНЕВРЕННЫ В ИАГРУЯ^ЕННОМ СОСТОЯНИИ И ЗАНИМАТЬ МЕНЬШУЮ ПОЛОСУ ДВИЖЕНИЯ, ЧТОБЫ НЕ ЗАТРУДНЯТЬ ДВИЖЕНИЕ ВСТРЕЧНОГО ТРАНСПОРТА.

ТРУБОВОЗ СОСТОИТ ИЗ ТЯГОВОГО АВТОМОБИЛЯ 1 И РОСПУСКА 6, СОЕДИНЕННЫХ ДЫШЛОМ 7 И КАНАТАМИ КРЕСТОВОЙ СЦЕПКИ 8 (рис.8). На раме тягового автомобиля, вместо кузова, укреплено специализированное навесное оборудование. Оно включает в себя сварной надрамник 3 с предохранительным щитом 2 в передней части, предохраняющим кабину водителя от повреждения трубами 4. Надрамник крепится к лонжеронам рамы автомобиля стремлянками (равномерно с каждой стороны). В местах их установки для предохранения рамы автомобиля от смятия положены деревянные бруски.

На надрамнике укреплен поворотный коник 5, представляющий собой вращающуюся на вертикальной оси горизонтальную балку с деревянным брусом, на который укладывают перевозимые трубы. На балке коника устанавливаются и закрепляются упорные стойки 9, удерживающие трубы от скатывания с коника.

В зависимости от числа и размера перевозимых труб стойки могут переставляться в различные положения, в которых фиксируются пальцами, для чего в балке коника и ребордах стоек имеются отверстия. Балки коника устанавливаются строповые приспособления, крепящиеся другим концом к торцу каждой трубы. Во избежание боковых Перемещений трубы увязываются канатом 10 при помощи ручной лебедки 11, вмонтированной в одну из стоек коника.

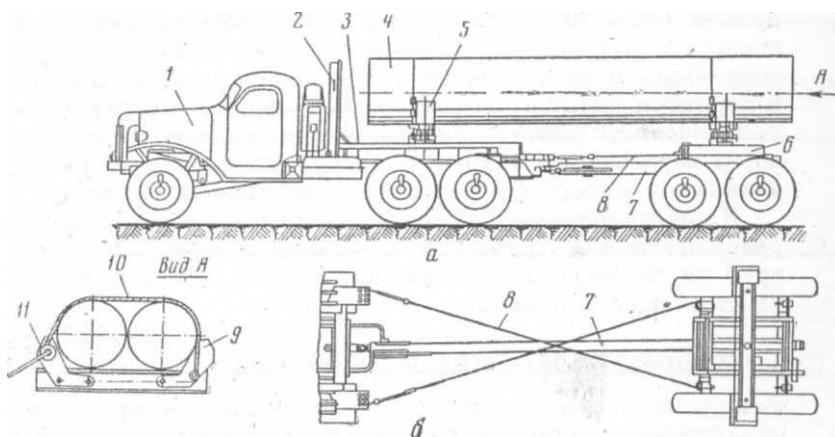


Рис.8 СХЕМА ТРУБОВОЗА

## Машины и оборудование для очистки и изоляции трубопроводов

Для того, чтобы обеспечить длительный безаварийный срок службы трубопровода, его наружную поверхность перед укладкой в траншею и засыпкой землей покрывают изоляционным покрытием, предохраняющим металл трубопровода от коррозии. В качестве изоляционного покрытия применяются битумная мастика, наносимая на поверхность трубопровода в расплавленном виде с последующей обмоткой лентами из бумаги, стеклохолста или бризола, а также полимерные пленки. С целью обеспечения лучшей прилипаемости изоляционного покрытия к трубопроводу, его поверхность перед нанесением изоляции подвергается очистке от грязи, окалины и продуктов коррозии.

Процессы очистки и изоляции магистральных трубопроводов в настоящее время полностью механизированы. Поверхность трубопроводов очищается при помощи самоходных очистных машин, а изолируется при помощи также самоходных изоляционных машин. В холодное время года трубопровод перед нанесением изоляции прогревается перемещающейся по нему установкой для сушки и подогрева трубы [13].

Мастика приготавливается на заводах или непосредственно на трассе в специальных установках и подвозится к местам изоляции в расплавленном виде битумозаправщиками (битумовозами).

Очистные машины предназначены для удаления с поверхности трубопровода грязи, окалины и ржавчины, а также для нанесения на нее грунтовки.

Грунтовка (праймер) представляет собой раствор битума в бензине наносимый на только что очищенную поверхность для предотвращения ее от окисления и обеспечения лучшей прилипаемости изоляционного покрытия.

Различают машины для очистки наружной и внутренней поверхности трубопровода. Сейчас на трассе применяются только первые, так как состояние наружной поверхности имеет решающее влияние на общую долговечность трубопровода.

В зависимости от того, в каких условиях работают машины: на трассе при очистке непрерывной нитки трубопровода или на базе при очистке отдельных

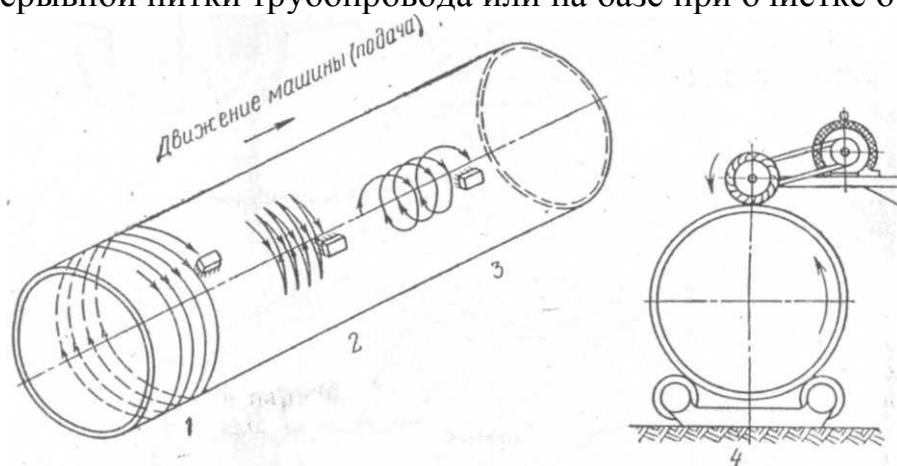


Рис.9

По характеру и траектории движения рабочих инструментов относительно очищаемой поверхности различают машины с поступательным, возвратно-поступательным, круговым и вращательным движением инструмента (рис.9).

Наибольшее распространение получили машины с поступательным движением рабочего инструмента, характеризующиеся наиболее простой кинематикой. Очистные машины должны обеспечивать высокое качество очистки, иметь высокую производительность, не оставлять на трубе рисок и надрезов, не срезать здорового металла, так как это приводит к утоньшению стенок трубопровода и уменьшению сечения сварочных швов, удалять продукты очистки с поверхности трубопровода, не допускать загрязнения ими рабочего места машиниста очистной и сопутствующих машин.

Трубоочистные машины обрабатывают поверхность трубопровода с помощью специальных очистных инструментов (рис.10). Его тип и траектория движения относительно очищаемой трубы определяют конструкцию соответствующей трубоочистной машины.

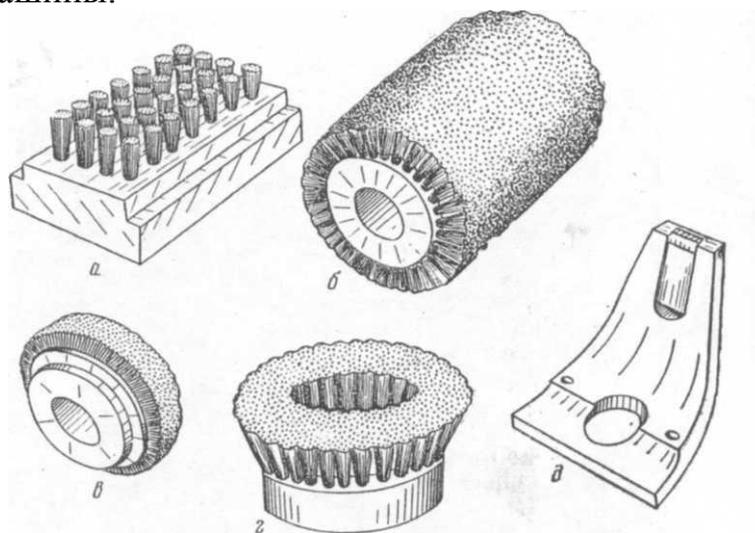


Рис.10. Очистные устройства

На первых очистных машинах в качестве рабочего инструмента применялись также шарошки, на которые возлагалась задача — раскалывать слой плотной окалины. Однако ввиду малой долговечности и незначительной эффективности от шарошек со временем отказались.

Применение двух типов очистного инструмента обусловлено различиями в прочностных характеристиках удаляемых загрязнений. Твердые и плотные образования разрушаются и удаляются с поверхности трубы скребками, а более мягкие и рыхлые — металлическими щетками. Вследствие упругости и большого числа ворсинок щетки способны удалять загрязнения из углублений шероховатой поверхности трубопровода.

Скребок представляет собой изогнутую стальную пластину, суженную со стороны рабочей поверхности и расширенную в месте крепления. Для увеличения эффективности очистки и долговечности рабочая поверхность скребка армируется более твердым материалом, чем материал самого скребка. Армирование производится наплавкой или напайкой износостойких материалов.

### **Машины для подводно-технических работ**

Под машинами для производства земляных работ здесь подразумеваются машины для разработки и засыпки подводных траншей.

Подводные траншеи разрабатываются земснарядами, скреперными установками, экскаваторами, подводными трубозаглубителями и другими механизмами. Выбор применяемого оборудования определяется характером водной преграды: типом разрабатываемого грунта, глубиной и шириной водоема, параметрами подводной траншеи, гидрологическим режимом водной преграды.

Разработка гидравлическими способами связных грунтов возможна, но менее эффективна. В этом случае применяются механические способы разработки, к которым относятся разрушение грунта резанием, механическим дроблением и взрывами. Более эффективным является применение комбинированных способов, например, механическое разрушение грунта и гидравлическое его транспортирование из зоны забоя.

Рабочие органы земснарядов — сложные агрегаты, включающие несколько самостоятельных устройств для разрушения и эвакуации грунта, имеющих общий или индивидуальный привод.

Современный землесос — это одноступенчатый центробежный насос, состоящий из корпуса и лопастного рабочего колеса, приводимого во вращение двигателем внутреннего сгорания или электродвигателем.

Корпус землесоса представляет собой стальную или чугунную полую отливку, имеющую спереди и сзади сквозное отверстие с фланцами, закрываемое крышками. Внутри корпуса по его периферии расположена кольцевая выемка — отливной канал. Корпус выполняют в виде улитки с очертаниями отливного канала по некоторой кривой с постепенным увеличением его сечения из соображения поддержания в канале одинаковой скорости движения пульпы. Канал закапчивается ответвлением, расположенным по касательной к его оси и снабженным фланцем. Это ответвление называется нагнетательным патрубком и служит для сочленения с напорным трубопроводом. Передняя крышка корпуса соединена с всасывающим патрубком, к которому подключается всасывающая труба. В подавляющем большинстве случаев в качестве механических разрыхлителей используются фрезы различных форм и конструкций [14].

Скреперно-землесосные установки предназначены для разработки подводных траншеи по дну неглубоких водоемов методом скреперования. Они отличаются от обычных канатно-скреперных установок тем, что имеют закрытый ковш двухстороннего действия, грунт из которого отсасывается по мере поступления при помощи землесосного или эжекторного рабочего органа или вымывается за пределы траншеи высоконапорными струями воды. К ковшу при помощи канатов крепится находящаяся на плаву насосная станция, расположенная на понтонах и перемещаемая по поверхности водоема вслед за ковшом при помощи тех же канатов.

На насосной станции установлен двигатель внутреннего сгорания, приводящий во вращение вал землесоса или насоса, подающего под напором чистую воду по гибкому или шарнирному трубопроводу к гидроэлеватору или гидроразрыхлителям, расположенным на ковше.

Область применения земснарядов с рабочим оборудованием эжекторного или землечерпательного типа, как правило, ограничена возможной глубиной опускания и эффективной работы рабочего органа (обычно 8—12 м, а иногда до 20—25 м). Кроме того, ширина по дну разрабатываемой ими траншеи превышает

диаметр укладываемого трубопровода в 8—12 раз, что необходимо для предотвращения заноса донным грунтом в период, предшествующий укладке трубопровода, а также для обеспечения попадания дюкера в траншею при его протаскивании.

Для ускорения темпа строительства подводных переходов, уменьшения объема земляных работ и увеличения глубины прокладки трубопроводов возникает необходимость их укладки непосредственно на дно с последующей разработкой траншеи под трубопроводом и постепенным отпуском в нее трубопровода.

Энергетическая база предназначена для снабжения энергией рабочего органа и обеспечения его передвижения по трубопроводу. В качестве нее используются существующие плавучие средства, оборудованные насосами необходимой производительности и рабочего давления для привода рабочего органа, оперативными лебедками для обеспечения перемещения и лебедкой для подъема рабочего органа на поверхность.

Подводный трубопровод должен быть надежно закреплен на дне водоема. Это осуществляется, как правило, чугунными грузами. Однако большой расход металла, механические повреждения изоляционного покрытия в местах установки на трубопровод чугунных грузов и значительные затраты являются основными недостатками такого способа балластировки. В отечественной и зарубежной практике трубопроводного строительства находит все большее применение обетонирование подводного трубопровода, т. е. нанесение на него (перед укладкой на дно водоема) сплошного наружного бетонного покрытия.

Бетонное покрытие выполняет следующие функции:

- а) утяжеляет трубопровод, препятствуя его всплытию и сдвигу по течению;
- б) защищает антикоррозионную изоляцию от повреждений как при строительстве перехода, делая ненужным применение деревянной футеровки, так и при эксплуатации;
- в) создает гладкую поверхность дюкера, снижая тем самым сопротивление протаскиванию его по дну водоема;

Перед обетонированием трубопровод покрывают усиленной изоляцией. Длина секции трубопровода, подготовленной для обетонирования, определяется проектом организации работ с учетом необходимости поворачивания ее в процессе нанесения покрытия. Это позволяет получать плотное и прочное покрытие, но характеризуется ограниченной производительностью и повышенным расходом смеси ввиду отскока, который составляет до 20% при набрасывании на плоскую поверхность и значительно увеличивается при выпуклой криволинейной поверхности.

### **Машины для продувки и пневматического испытания трубопроводов**

При продувке трубопроводов применяются очистные поршни, предназначенные для удаления из внутренней полости трубопровода посторонних предметов и зачистки его внутренней поверхности. Очистные поршни состоят из следующих основных элементов: корпуса, манжетных уплотнительных устройств

и металлических щеток. Манжетные уплотнения обеспечивают плотность посадки поршней в трубопроводе, а металлические щетки очищают внутреннюю поверхность трубопровода.

Две конструкции очистных поршней. Корпуса их выполнены из труб и заглушены в передней части. Смонтированные по окружности и загнутые в одном направлении трубки предназначены для создания скоростных воздушных струй, обеспечивающих при продувке одновременно с поступательным перемещением вращение поршней реактивными силами. Поршень, отличается от поршня конструкцией манжетных уплотнений и креплением металлических щеток. В первом случае имеют место прямые манжеты, а во втором — самоуплотняющиеся.

При износе прямых манжет сжатый воздух проходит через зазор между стенками трубы и поршнем в полость перед ним. Это приводит к повышенному расходу продувочного воздуха и снижению скорости продвижения поршня, а иногда и к его остановке [6,8].

Самоуплотняющиеся манжеты равномерно прижимаются давлением воздуха к внутренним стенкам трубопровода, причем герметичность не нарушается даже при значительном (но неполном) износе отбортованных частей манжет.

В конструкции крепление металлических щеток к корпусу выполнено жестким, что не обеспечивает равномерного и необходимого прижатия щеток к стенкам трубопровода. По мере износа щеток и манжет неравномерность прижима увеличивается, а его усилие уменьшается, что ухудшает качество очистки.

В конструкции крепление щеток выполнено упругим за счет применения плоских пружин. Такое крепление обеспечивает более равномерный прижим щеток к внутренней поверхности трубопровода.

Для продувки трубопроводов, проходящих по сильно пересеченной местности или прокладываемых по способу «змейка», применяются поршни, выполненные из двух частей, соединенных между собой шарнирно. Для установки обеих частей по одной оси и смягчения ударных нагрузок шарнир стабилизируется цилиндрической пружиной. Такая конструкция позволяет поршню вписываться в многочисленные кривые вставки, не создавая значительных динамических нагрузок на трубопровод.

Принципиальная конструктивная схема всех применяемых компрессорных станций одинакова. Основными их агрегатами являются двигатель внутреннего сгорания и компрессор, смонтированные на общей раме, установленной на тележке с пневмоколесным или гусеничным ходом.

Передача крутящего момента от двигателя к компрессору осуществляется эластичными муфтами или через дополнительные узлы (редуктор, коробку передач).

Станции оборудованы поршневыми компрессорами с приводом от дизельных и бензиновых двигателей. В основном применяются дизельные двигатели, а бензиновые — лишь в сравнительно маломощных компрессорах (марки ЗИФ-55).

В зависимости от давления всасываемого воздуха различают компрессоры нормальные и дожимные. У первых давление воздуха на всасывающей линии равно атмосферному, у вторых — выше атмосферного.

Для продувки трубопроводов применяются передвижные станции общестроительного назначения, снабженные двухступенчатыми компрессорами с конечным давлением до  $7 \text{ кгс/см}^2$  (марки ЗИФ-55, ДК-9М и т. д.).

Для испытания трубопроводов применяют компрессоры среднего и высокого давления (до  $100 \text{ кгс/см}^2$ ), соединяя их в определенном порядке (многокаскадная схема). Например, при трехкаскадной схеме компрессоры первого каскада, засасывая воздух из атмосферы, обеспечивают подъем давления на нагнетательной стороне до  $8 — 12 \text{ кгс/см}^2$ . Компрессоры второго каскада, питаемые сжатым воздухом от компрессоров первого каскада, обеспечивают подъем давления до  $40—50 \text{ кгс/см}^2$ . Наконец, компрессоры третьего каскада доводят давление в трубопроводе до максимальной величины (до  $80 — 100 \text{ кг/см}^2$ ). Компрессоры второго и третьего каскадов являются дожимными и подключаются в определенный момент, когда давление в трубопроводе достигает того нижнего предела в их напорном диапазоне, при котором работа этих компрессоров становится эффективной.

Для гидравлического испытания магистральных трубопроводов применяются специальные машины: наполнительные и опрессовочные агрегаты.

Наполнительные агрегаты служат для быстрой закачки воды в испытуемый участок трубопровода, опрессовочные — для подъема давления в заполненном водой участке трубопровода до величины, обеспечивающей испытание на прочность.

Существуют также наполнительно-опрессовочные агрегаты, производящие как наполнение, так и опрессовку трубопровода.

Принципиальная конструктивная схема наполнительных и опрессовочных агрегатов одинакова. Основными их узлами являются двигатель внутреннего сгорания и насос, которые совместно с остальным дополнительным оборудованием монтируются на общей раме. Общая рама, в свою очередь, устанавливается и крепится на прицепной тележке, тракторе или шасси автомобиля.

Существенным недостатком агрегатов, монтируемых на базе тракторов, является их низкая мобильность. На большие расстояния такие агрегаты можно перевозить лишь в погруженном состоянии на трейлерах или железнодорожных платформах. Применение автомобилей в качестве базы наполнительных и опрессовочных агрегатов, повышая мобильность, одновременно ухудшает их технико-эксплуатационные и экономические показатели. Например, автомобиль эффективно используется лишь при перебазировке агрегата, а при его работе фактически выполняет роль рамы, стоимость которой составляет более 30% общей стоимости агрегата. При размещении агрегатов на берегах водоемов часто приходится дополнительно выполнять значительный объем земляных работ для подготовки подъездных площадок, чтобы автомобиль смог подойти близко к воде.

Поэтому чаще всего базой агрегатов служит прицепная тележка на пневмоходу, оснащенная дышлом с поворотным механизмом передних колес и тормозами: ходовым и стояночным.

Двигатель, насос и все дополнительное оборудование монтируются на вспомогательной раме установленной на тележке, что позволяет при

необходимости снимать раму с оборудованием с тележки и перевозить ее в кузове автомобиля или на санях. В основном же агрегаты транспортируются на тележках, прицепляемых к автомобилям или тракторам, а также перевозимых по железной дороге на платформах.

Наполнительные агрегаты должны обеспечивать высокие скорости наполнения водой трубопроводов, поэтому на них устанавливаются насосы центробежного типа, обладающие большой производительностью при малом давлении.

Опрессовочные агрегаты должны обеспечивать высокие давления при малой производительности, так как трубопровод заполнен водой. На опрессовочных агрегатах устанавливаются насосы поршневого (плунжерного) типа.

Основным отличием опрессовочного агрегата от наполнительного является установка на нем насоса поршневого (плунжерного) типа вместо насоса центробежного типа зацеплении с бронзовым венцом червячного колеса. Оно выполнено заодно с коренным двухколенным валом. Червячный вал установлен при помощи двух радиальных роликоподшипников и двух упорных шарикоподшипников в нижней части станины, служащей одновременно масляной ванной. Коренной вал опирается на два сферических роликоподшипника и установлен в станине таким образом, что червячное колесо имеет вертикальное расположение. Возникающие при работе передачи осевые нагрузки воспринимаются упорными шарикоподшипниками. Каждое колесо коренного вала представляет собой эксцентрично расположенные по отношению к его оси шейки, сдвинутые друг относительно друга на  $90^\circ$ . На шейки надеты большие головки шатунов с запрессованными в них роликоподшипниками [6].

Шатуны соединены, малыми головками с ползунами (крейцкопфами) посредством пальцев с игольчатыми подшипниками. Ползуны имеют чугунные накладки и перемещаются по горизонтальным цилиндрическим направляющим. Каждый ползун соединен штоком с поршнем, перемещающимся во втулке, расположенной внутри клапанной коробки. Втулки совместно с поршнями являются сменным оборудованием. В комплекте насоса предусмотрены втулки четырех размеров (диаметром 90, 100, 115 и 127 мм). С их перестановкой меняются производительность и давление насоса. В верхней части клапанной коробки установлены четыре всасывающих и четыре нагнетательных клапана (по два на каждый цилиндр). Их конструкция и размеры одинаковы.

## **ГЛАВА 3. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ СООРУЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

### **Основные понятия и система показателей механизации строительства на современном этапе развития технического прогресса**

Решение вопроса о механизации или автоматизации процесса в конечном счете преследует три задачи: облегчение труда, обеспечение его безопасности и экономическую эффективность. Экономическая цель механизации и автоматизации — снижение стоимости и сокращение сроков строительства, снижение трудоемкости работ на базе повышения общественной производительности труда в строительном производстве. С экономической точки зрения механизированным считается процесс, в котором мускульная энергия рабочего заменяется механической, электрической и другими видами энергии.

Социальная цель механизации и автоматизации — облегчение и оздоровление труда рабочих, обеспечение его безопасности. По мере своего развития механизация и автоматизация обеспечивают гармоничное слияние умственного и физического труда. Наличие социального фактора предопределяет особенности развития механизации и автоматизации при социалистическом способе производства, заключающиеся в том, что механизация процесса может быть продиктована улучшением условий и обеспечением безопасности труда даже при отрицательном экономическом эффекте [10].

Механизация процессов и операций проводится также с целью перехода на автоматизацию. С увеличением числа машин, внедряемых в строительство, менялись требования к механизации, совершенствовалась система показателей. В послевоенные годы механизация строительства приняла еще больший размах. В 1951 г. было введено государственное планирование заданий по комплексной механизации отдельных видов работ. В этом же году вышла книга Н. Г. Домбровского, в которой заложены основы теории производительности строительных машин на основе анализа их технических и эксплуатационных возможностей. В этой же работе сформулированы требования к механизации строительства, предъявляемые на данном этапе развития технического прогресса. К ним относятся механизация всех операций процесса; применение на данном объекте для механизации отдельных операций всего комплекса средств механизации одинакового технического уровня и одинаковой производительности; выбор из числа имеющихся средств таких, которые в данных условиях дают максимальный экономический эффект.

Таким образом, в эти годы были поставлены задачи механизации всех операций процесса, снижения трудоемкости и себестоимости работ.

Механизация и автоматизация строительства изменяет характер и условия труда рабочих. Для того чтобы количественно и качественно оценить эти изменения, весь профессиональный состав рабочих классифицируется по принципу механизации и автоматизации труда на следующие пять групп:

I— операторы, управляющие автоматами и автоматизированными установками и агрегатами;

- II — машинисты, выполняющие работы с помощью машин, механизмов и оборудования;
- III — рабочие, выполняющие работу вручную при машинах;
- IV — рабочие, выполняющие работу вручную (не при машинах);
- V — слесари-механики, выполняющие ручную работу по ремонту машин.

В укрупненных расчетах I и II группы принято относить к механизированному труду, а остальные к ручному.

По мере совершенствования механизации и автоматизации строительства происходит сокращение числа рабочих III— V групп за счет увеличения числа операторов и машинистов, а по мере повышения единичной мощности и производительности машин — общее сокращение числа рабочих, занятых в строительстве.

Частично механизированным принято называть такой способ проведения работ, при котором механизированы основные процессы, а вспомогательные частично или полностью выполняются вручную.

Стимулирующее значение показателей частичной и комплексной механизации по действующей системе их планирования и учета для многих видов работ еще далеко не исчерпано. Перспективным является переход от комплексной механизации отдельных процессов и видов работ к комплексной механизации сооружения объектов. Однако в тех случаях, когда уровень комплексной механизации приближается к 100%, необходимо переходить к другим показателям, позволяющим более глубоко оценить состояние механизации и воздействовать на ее дальнейшее развитие. Опыт планирования заданий по комплексной механизации основных видов работ в трубопроводном строительстве за последние годы показал, что при существующей системе определения показателей уровня механизации они составляют 98—99,9 %.

Аналогичный расчет уровня комплексной механизации при нанесении битум-норезиновой изоляции с учетом ее изготовления показывает, что он составляет 55—60 %. Следует отметить, что не все задачи комплексной механизации по сооружению трубопроводов решены. Даже при таком высокомеханизированном процессе, как проведение изоляционно-укладочных работ при трассовом методе изоляции полимерными лентами, требуется ручной труд четырех рабочих в колонне для заправки шпуль изоляционной машины — операции достаточно тяжелой и трудоемкой. В колонне по сооружению трубопроводов диаметром 1420 мм ручным трудом занимаются четыре человека из 28. Поскольку операции по заправке шпуль — составная часть цикла процесса, их трудоемкость можно принять пропорционально числу рабочих. Тогда уровень комплексной механизации с учетом трудоемкости операции составит не 100, а 88,8 %. Если же учесть трудоемкость всех фактически выполняемых вспомогательных операций, то уровень комплексной механизации снижается до 75—80 %, что в значительно большей степени соответствует фактическим затратам ручного труда [14].

Одна из важнейших задач механизации — подготовка строительных процессов к переходу на автоматизацию. Процесс может быть автоматизирован только в том случае, когда все без исключения операции механизированы, а конструктивное исполнение машин и механизмов подготовлено к автоматизации.

В отличие от установившегося понятия о комплексно-механизированном способе проведения работ, допускающем выполнение отдельных операций вручную, целесообразно ввести понятие о полностью механизированном способе проведения работ как о переходном этапе к автоматизации. Под полностью механизированным способом проведения работ следует понимать такой способ, при котором все основные и вспомогательные процессы и операции выполняются согласованными по производительности машинами и их комплектами.

Автоматизация — высшая форма машинного производства. Автоматизированными называются процессы, в которых ручной труд человека по управлению машинами и механизмами заменен специальными устройствами, обеспечивающими заданную производительность и качество продукции без вмешательства человека.

Автоматические устройства — это устройства, осуществляющие управление и контроль за производственным процессом по заданной программе. В совокупности с рабочими машинами они образуют автоматические машины.

Под автоматизацией строительства следует понимать применение автоматических устройств, позволяющих осуществлять производственные процессы и операции без непосредственного участия человека, но под его наблюдением. Научно-технический прогресс в области автоматизации строительства заключается в проведении в жизнь комплекса технических, организационных, экономических, социальных и других мероприятий, позволяющих освободить человека от непосредственного участия его в производственном процессе [6].

Таким образом, переход от механизации отдельных видов работ и процессов к комплексной механизации сооружаемых объектов, от комплексной к полной механизации, а затем к автоматизации строительства — важнейшие перспективные направления, осуществлению которых должна способствовать постановка планирования.

Для того чтобы более четко представить круг задач комплексной механизации и автоматизации строительства, необходимо воспользоваться системным подходом, позволяющим выделить их из общей совокупности задач развития строительного производства.

В сложных метеорологических, гидрогеологических и топографических условиях приходится или полностью изменять схемы комплексной механизации работ, или вносить в них коррективы по номенклатуре и структуре применяемой строительной техники. Изучению методов проведения работ в сложных условиях и созданию специальных машин посвящены работы многих авторов. Однако вопросы строительства в сложных условиях остаются наиболее актуальными, так как осваиваются месторождения районов с неблагоприятными природно-климатическими условиями.

### **Механизация подготовительных работ**

Подготовка трассы, сооружение вдольтрассовых дорог по сравнению с другими видами работ на строительстве линейной части магистральных трубопроводов наименее механизированы. Доля ручного труда на

подготовительных работах составляет около 70%. Однако возможна комплексная механизация практически всех работ по инженерной подготовке трассы путем рационального оснащения процессов серийно выпускаемыми средствами механизации. В первую очередь следует остановиться на комплексе машин, включающих трелевочные тракторы и базирующиеся на них машины для сводки леса и строительства дорог.

Балочная машина ВМ-4 кроме валки леса с помощью бульдозерной установки осуществляет формирование пакета. При прорубке трассы комлевая часть спиленного дерева для освобождения прохода с помощью технологического рычага перебрасывается в сторону, противоположную расположению пильного органа. За счет предварительного пакетирования производительность трелевочных тракторов возрастает на 40—50%.

Представляют интерес колесные трелевочные тракторы, преимущества которых перед гусеничными машинами заключаются в большей степени скорости и маневренности и меньших эксплуатационных расходах. Колесные трелевочно-транспортные тракторы «Кировец» применяют при оснащении трактора тросовым или бесчokerным оборудованием для трелевки и прямой вывозки леса в полупогруженном положении.

Установка на трелевочных тракторах гидравлических манипуляторов, оснащенных клещевыми захватами, позволила значительно расширить возможности механизации трудоемких трелевочных операций.

Бесчokerные тракторы ТБ-1 и ЛП-18А, выпускаемые на базе тракторов ТДТ-55 и ТТ-4, а также ЛТ-157, выпускаемый на базе трактора Т-157, благодаря своей универсальности могут быть эффективно использованы при подготовке трассы и на строительстве лежневых дорог.

Функция развития парка машин осуществляется путем модернизации специальной техники и приобретения общестроительных машин. Одновременно осуществляются списание физически и морально устаревшей техники, снятие с производства машин, которые заменяются более прогрессивными, а также изъятие машин, связанное с изменением конструктивных решений и структуры работ. Развитие парка машин тесно связано с прогрессом в области технологии, изменениями в структуре работ [4,7].

Планирование работы машин и распределение парка машин по строительным организациям базируются на принятой технологии и организации строительства и согласуются с планированием строительства объектов.

Блок эксплуатации парка машин, включающий техническое обслуживание, диагностирование и ремонт машин, зависит от парка машин отрасли, поскольку его назначение — обслуживание. В связи с этим развитие ремонтно-эксплуатационной базы, планирование технического обслуживания и ремонта, распределение технических средств являются вторичными по отношению к формированию парка машин. Специфическая особенность распределения, заключающаяся в том, что одни машины ремонтируют на базах строительных организаций, другие — централизованно на заводах. Из-за вторичного характера блока эксплуатации парка машин его внешние связи выражены не так ярко, как в блоке формирования парка машин. К важнейшим внешним связям следует отнести зависимость от машиностроения в части производства запасных частей

узлов и агрегатов, а также средств механизации технического обслуживания, диагностирования и ремонта. Информация о результатах использования машин в строительстве (на схеме потоки информации показаны двойными пунктирными линиями) поступает на переработку, а затем в блок подготовки решений по управлению механизацией и автоматизацией строительства.

Поток информации о результатах использования машин на трассах отражает результаты хозяйственной деятельности строительно-монтажных организаций по применению прогрессивных

Таким образом, блок использования парка машин — важнейший информационный элемент в подсистеме механизации строительства. Его информация используется не только для управления механизацией строительства, но и в подсистемах технологии, организации и планирования.

Подготовка трассы, сооружение вдоль трассовых дорог по сравнению с другими видами работ на строительстве линейной части магистральных трубопроводов наименее механизированы. Доля ручного труда на подготовительных работах составляет около 70%. Однако возможна комплексная механизация практически всех работ по инженерной подготовке трассы путем рационального оснащения процессов серийно выпускаемыми средствами механизации. В первую очередь следует остановиться на комплексе машин, включающих трелевочные тракторы и базирующиеся на них машины для сводки леса и строительства дорог.

Передвижение автомобилей по снежной целине ухудшает их тяговые качества, увеличивает расход топлива, повышает износ и вероятность поломки деталей ходовых частей. В связи с этим необходимо сооружать зимние дороги, которые следует поддерживать в хорошем состоянии в течение всего зимнего сезона. Различают дороги снежные уплотненные, снежные с ледяным и сплошным ледяным покровами. Тип дороги, технология и механизация их строительства определяются природно-климатическими и гидрогеологическими условиями. Снежные дороги с ледяным покровом (уплотнение до 0,35 г/см<sup>3</sup>) меньше влияют на верхний слой вечномерзлых грунтов, чем снежные дороги со сплошным ледяным покровом. При невысокой интенсивности движения иногда достаточно снежной уплотненной дороги [13].

В зоне многолетнемерзлых грунтов для сохранения мохового покрова при проходе машин возникает необходимость в отсыпке грунта на поверхность вдольтрассовых и временных дорог, поэтому в комплектах машин для дорожных работ необходимо предусматривать экскаваторы с вместимостью ковша 1 — 1,6 м<sup>3</sup> для разработки карьеров и самосвалы для перевозки грунта. Число машин определяется объемами разработки и расстоянием, на которое транспортируется грунт.

### **Механизация погрузочно-разгрузочных работ**

В трубопроводном строительстве используют автомобильные, пневмоколесные и гусеничные краны, фронтальные погрузчики и другие средства механизации, но основными машинами являются стреловые краны-трубоукладчики (рис.11). Традиционная конструктивная схема трубоукладчиков включает в себя гусеничное тракторное шасси и навесное оборудование с боковой

стрелой и откидным контргрузом, который позволяет изменять момент грузовой устойчивости, определяемый массами тракторной части и контргруза и их расстояниями до ребра возможного опрокидывания. Высокая грузовая устойчивость трубоукладчиков и удобство в работе, создаваемые боковой стрелой, позволяют использовать их при сооружении трубопроводов практически во всех монтажных и грузоподъемных процессах.

С увеличением диаметров и толщин стенок труб возросла необходимость в повышении грузовой устойчивости трубоукладчиков. ВНИИСТом и СКВ Газстроймашина разработаны трубоукладчики с высоким моментом устойчивости, а также порталные трубоукладчики, обладающие практически абсолютной устойчивостью. При погрузочно-разгрузочных работах в основном используют трубоукладчики в обычном исполнении.

При строительстве линейной части магистральных трубопроводов 90 % от общего объема погрузочно-разгрузочных и транспортных работ связано с трубами. На железнодорожные станции трубы поступают в полувагонах. Их разгрузка (погрузка) осуществляется автомобильными или пневмоколесными кранами с применением торцовых захватов и траверс.

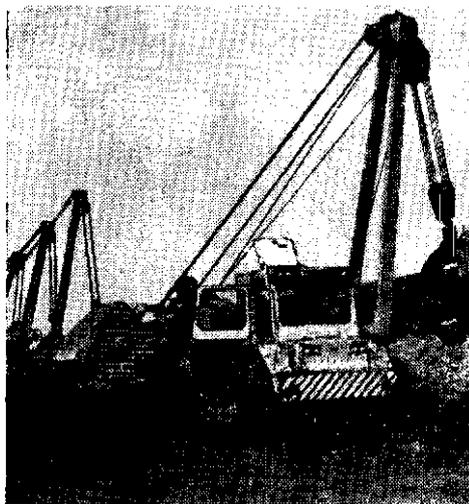


Рис. 11. Трубоукладчик ТГ201

Перевозка труб и секций осуществляется труботранспортными автопоездами: трубовозами и плетевозами (рис. 12), состоящими из тягача и роспуска. Компоновка трубо-транспортных машин позволяет перевозить трубы и секции различной длины и регулировать величину базы и заднего свеса в зависимости от дорожных условий. Труботранспортные машины имеют две-три грузонесущие балки (коники), передающие тяговое усилие от тягача к роспуску.

Современные труботранспортные автопоезда оборудованы тормозными устройствами на роспусках, что обеспечивает безопасность движения. Для предотвращения повреждения покрытия при перевозке изолированных труб используют приспособления ППЗ, имеющие три степени свободы поворота ложементов трубы и оборудованные мягкими прокладками.



Рис. 12. Плтевоз ПВ94

Траншеи разрабатывают роторными и одноковшовыми экскаваторами. Роторные экскаваторы более производительны, чем одноковшовые, и позволяют получить более качественный профиль траншеи. В связи с этим одноковшовые экскаваторы целесообразно применять только в тех случаях, когда нельзя использовать роторные экскаваторы: при разработке перемычек и криволинейных участков, в скальных, сыпучих и переувлажненных грунтах, пересеченной местности.

Роторные экскаваторы — машины непрерывного действия. Рабочим органом их служит ротор с расположенными на нем ковшами. Разработанный грунт перемещается на бровку траншеи ленточным транспортом.

В связи с этим более прогрессивными являются дифференцированные методы, обеспечивающие непрерывность цикла разработка траншеи — укладка трубопровода. Следует отметить, что реализация дифференцированной схемы для трубопроводов больших диаметров и широкого диапазона разрабатываемых грунтов требует уширения гусеничного хода экскаваторов.

В зависимости от грунтов и топографических условий трассы в состав землеройной колонны включают различное число одноковшовых экскаваторов и бульдозеров. В основном используют одноковшовые экскаваторы Э-652 и ЭО-4121. Однако в отечественной и мировой практике на строительстве трубопроводов больших диаметров все шире используют экскаваторы с вместимостью ковша свыше 1 м<sup>3</sup>.

По технологии внедрены прогрессивные методы разработки траншеи комплектами машин, включающими экскаваторы и бульдозеры. Бульдозеры разрабатывают лоток на глубину до 1 м, а экскаваторы дорабатывают траншею на полный профиль. Это позволяет значительно повысить темпы строительства и снизить себестоимость.

### **Механизация земляных работ**

Трудоемкость земляных работ при строительстве магистральных трубопроводов значительно зависит от природно-климатических условий и вида грунта. В связи с этим ведется постоянный поиск новых средств механизации и методов проведения земляных работ в обводненных, вечномёрзлых, скальных и сыпучих грунтах. Специальных высокопроизводительных средств механизации

для разработки траншей в таких условиях практически нет, работа выполняется обычными землеройными машинами, которые снабжены режущим органом специальной конструкции (форма, материал и расстановка зубьев, форма ковша) и имеют специальное исполнение (северное, болотное). Соответствие темпов разработки траншеи темпам потока достигается технологическим путем, т. е. выбором для каждого грунтового условия наиболее рационального способа разработки и комплекта машин [6].

В болотах I и II категорий траншеи разрабатывают одноковшовыми экскаваторами специального исполнения.

В заболоченных районах успешно эксплуатируют переделанные в мастерских строительных организаций экскаваторы Э-652А с ходовой частью от списанных экскаваторов ЭР7. Одна из задач механизации при разработке траншей в болотах — создание серии одноковшовых экскаваторов с вместимостью ковша 0,65—1,2 на тракторном или резино-металлическом ходу. Для работы на болотах используют также экскаваторы в обычном исполнении, устанавливаемые на понтонах.

Для разработки траншей на обводненных болотах используют одноковшовые экскаваторы, оборудованные ковшом-драглайном. В сплавинных болотах, а также на заболоченных участках, где трубопроводы целесообразно прокладывать методами сплава или протаскивания, траншеи обычно разрабатывают методом взрыва на выброс. Взрывчатые материалы доставляют к месту взрывных работ на гусеничных болотных тракторах и тягачах типа ГТТ, в ряде случаев с них же осуществляют раскладку зарядов по оси будущей траншеи. Перевозку взрывчатых веществ, средств взрывания и рабочих-взрывников осуществляют также передвижными пунктами ПВМ-2, смонтированными на шасси ЗИЛ-131 с кузовом типа КУНГ-1М. Наибольшее количество детонаторов, которое можно перевозить в ПВМ-2, 5000 шт., детонирующего шнура 500 м, огнепроводного шнура 9000 м, взрывчатых веществ (аммонита) 1,2 т. Допускаемое количество взрывчатых веществ при краткосрочном хранении 3 т.

Разработан укладчик взрывчатых материалов типа УВМ, предназначенный для установки и дозирования зарядов взрывчатых материалов при прокладке траншей магистральных трубопроводов в болотистых, обводненных и вечномерзлых грунтах взрывным способом.

Укладчик выполнен как навесное или прицепное оборудование к роторному траншейному экскаватору ЭТР132А. Дозирующее устройство позволяет дозировать в широких пределах, что дает возможность получать траншеи заданного поперечного сечения.

Вечномерзлые грунты с глубиной промерзания до 1 м без предварительного рыхления разрабатывают роторными экскаваторами ЭТР204, ЭТР223, ЭТР224, а до 2,5 м — экскаваторами ЭТР254. Ведутся исследования по созданию роторных экскаваторов, позволяющих разрабатывать траншею при промерзании на полную глубину, а также исследования по разработке грунтов экскаваторами, оснащенными ковшами с активными зубьями, и другими методами.

Наименее энергоемкими процессами механической разработки мерзлых грунтов является разработка баровыми машинами путем прорезания узких щелей

по профилю траншеи с последующей выемкой грунта без механического рыхления. Однако этот метод применяется довольно редко [12].

Отечественные роторные экскаваторы, являющиеся наиболее мощными и высокопроизводительными из серийно выпускаемых в мировой практике, разрабатывают мерзлый грунт с производительностью до 300—600 м<sup>3</sup>/ч. Однако, учитывая темпы изоляционно-укладочных и сварочно-монтажных работ, этого не всегда достаточно, поэтому разрабатывают роторные экскаваторы с единичной мощностью 480—530 кВт, применение которых позволит в 1,5—2 раза повысить темп разработки траншеи в мерзлых грунтах.

Разработку траншеи в мерзлых влагонасыщенных, а также скальных грунтах осуществляют одноковшовыми экскаваторами. Рыхление скальных или мерзлых грунтов перед работой одноковшового экскаватора производят мощными однозубыми рыхлителями или буро-взрывным мелкошпуровым способом. Подсыпку мягкого грунта на дно траншеи в мерзлых и скальных грунтах осуществляют самосвалами с последующим разравниванием микробульдозерами или экскаваторами с грейферным ковшом. Равномерности подсыпки можно добиться путем установки на землевоз транспортера с питателем, а необходимой толщины слоя ее — регулировкой скорости движения землевоза вдоль траншеи и скорости движения транспортера.

В горных условиях на продольных уклонах до 18° траншеи можно разрабатывать роторными и одноковшовыми экскаваторами без анкеровки. В увлажненных суглинках и глинах анкер-ровка необходима и при меньших уклонах (8—12°).

Если роторный экскаватор работает по схеме «сверху вниз», ротор служит якорем, поэтому возможна разработка траншеи без якорения при продольном уклоне 20—25°. При таких же уклонах возможна работа без якорения одноковшовых экскаваторов на тракторном ходу. Для якорения экскаваторов используют бульдозеры, располагающиеся наверху на ровной площадке.

В скальных и мерзлых грунтах применяют также дифференцированный способ разработки, при котором верхний слой на глубину до 1 м отрывают бульдозерами, а оставшийся нижний слой до проектной отметки дорабатывают одноковшовыми экскаваторами [11].

В песчаных грунтах с крутизной естественных откосов 1 : 1 и более разработку траншей ведут одноковшовыми экскаваторами с ковшом-драглайном вместимостью 1 —1,6 м<sup>3</sup>. Для обеспечения необходимых темпов разработки траншеи работы выполняют звеньями экскаваторов (по 8—10 машин в каждом звене). Длина захватки для каждого экскаватора 100—150 м.

При сооружении надземных трубопроводов в районах вечно-мерзлого грунта в состав земляных работ входит бурение скважин под свайные опоры. В зависимости от группы грунта свайные опоры рекомендуется возводить следующими способами: забивать сваи непосредственно в мерзлый грунт или предварительно пробуренные скважины, устанавливая сваи в предварительно оттаянный грунт или в предварительно пробуренные, а затем залитые специальным раствором скважины. Для бурения скважин при установке свай диаметром 350 мм и более в зависимости от группы грунта рекомендуется применять механизмы термомеханического, ударно-канатного, вращательного

или комбинированного действия. Для бурения скважин в грунтах IV—VI групп и неоднородных грунтах используют станки ударно-канатного действия БС-1М, а также БУ20-2М, УКС-22М и др. Производительность ударно-канатных станков 8—10, а шарошечных—45—58 м/смену. Однако шарошечное бурение требует большего расхода долот. Кроме того, станки шарошечного бурения обладают большой массой для создания в процессе бурения необходимых осевых усилий, поэтому они менее маневренны и проходимы.

Термомеханическое бурение станками типа ТБС основано на принципе ослабления прочности мерзлых грунтов с помощью огнеструйных горелок и последующей механической разработки грунта трехперыми коронками или шарошками. Это позволяет, меняя режимы проходки, разрабатывать мерзлые неоднородные грунты различных категорий.

Без предварительного бурения или оттаивания мерзлого грунта сваи можно забивать в высокотемпературные пластично-мерзлые грунты. При этом следует использовать машины типа СП-49, С-878 и др. Лидерное бурение рекомендуется применять в высокотемпературных «вялых» пластично-мерзлых однородных грунтах, не содержащих крупнообломочных и твердых включений. Погружение лидеров и свай в лидерные скважины осуществляют принудительно с помощью тех же сваебойных механизмов. При наличии в грунтах крупнообломочных включений (более 40 %) применять бурение нецелесообразно, так как значительно возрастает усилие погружения лидера и наблюдается осыпание керна в скважину.

Современные роторные экскаваторы отечественного производства по своим техническим показателям не уступают машинам передовых зарубежных фирм, а по ряду показателей превосходят их. Однако требования по повышению темпов и качества строительства, увеличению глубины заложения трубопроводов с целью повышения надежности их эксплуатации ставят задачу создания новых более производительных машин.

В связи с этим более прогрессивными являются дифференцированные методы, обеспечивающие непрерывность цикла разработка траншеи — укладка трубопровода. Следует отметить, что реализация дифференцированной схемы для трубопроводов больших диаметров и широкого диапазона разрабатываемых грунтов требует уширения гусеничного хода экскаваторов. В зависимости от грунтов и топографических условий трассы в состав землеройной колонны включают различное число одноковшовых экскаваторов и бульдозеров [2,7].

### **Автоматизация и механизация сварочно-монтажных работ**

Основная задача механизации и автоматизации трубопроводного строительства решается в двух направлениях: применение метода укрупненной сборки труб в секции на трубосварочных базах с использованием оборудования для полуавтоматических и автоматических методов поворотной сварки или установок для контактной сварки; использование комплектов машин для автоматизации неповоротной сварки или передвижных агрегатов для контактной сварки непрерывной нитки трубопровода в трассовых условиях. Первое направление, получившее широкое распространение в нашей стране, позволяет

выполнить до 60 % стыков автоматизированными методами сварки и 40 % ручной дуговой сваркой. Второе направление, прогрессивно развивающееся в последние годы, позволяет перейти на автоматизированные методы сварки всей магистрали, за исключением врезки катушек и линейной арматуры.

К средствам механизации сборочных операций относятся внутренние центраторы с механизмами для их перемещения, рольганги, станки для обработки торцов, приспособления для правки вмятин и др. Наиболее совершенное оборудование трубосварочных баз, позволяющее практически исключить ручной труд на всех операциях, — полустационарные базы типа БТС. Они представляют собой комплект оборудования, который обеспечивает выпуск готовых двух- и трехтрубных секций диаметром 720—1420 мм: БТС 142 — двухтрубные, БТС 143 — трехтрубные, БТС71 — 720—1020 мм. В состав базы входят линии подготовки торцов труб, сборки и автоматической сварки под флюсом снаружи, автоматической сварки внутри, блоки питания и вспомогательный, комплекты электроосвещения, оснащения и принадлежностей.

При отсутствии централизованного энергоснабжения базы используются передвижные электростанции. Кроме того, базы комплектуются трубоукладчиком для загрузки труб и складирования готовых секций, машинкой МОН51 для намотки кассет, компрессором, питающим машинки для отбивки шлака, оборудованием для контроля сварных соединений [6].

На линии подготовки торцов производится изменение формы торцов труб с заводской обработкой на форму и размеры, соответствующие рациональным режимам сварки. Эта линия включает в себя накопители-стеллажи, механизированные покати, являющиеся рабочим местом для обработки торцов, и станки, производящие механическую обработку торцов под сварку.

Линия сборки и автоматической сварки под флюсом снаружи состоит из накопителей-стеллажей, на которых находятся трубы, подготовленные к сварке, механизированной установки, включающей в себя манипуляторы для укладки труб на рольганги продольного перемещения и манипуляторы для снятия сваренной секции с рольгангов продольного перемещения.

Годовая выработка баз типа БТС составляет 300—400 км трубопроводов. Часовая производительность базы БТС71 на трубе диаметром 720 мм — 8 стыков, баз БТС142 и БТС143 на трубе диаметром 1420 мм при толщине стенки 17 мм — соответственно 3,5 и 6 стыков. Наибольшая потребляемая мощность баз БТС71 и БТС 143 — 350 кВт, БТС 142 — 260 кВт.

Механизация основных сборочных операций для сварки трехтрубных секций диаметром 720—1420 мм достигается на механизированных трубосварочных линиях МТЛ10, МТЛ121, МТЛ141 и стендах ССТ141.

Основным механизмом, используемым для сборки труб в секции и секций в непрерывную нитку трубопровода, является центратор. При строительстве трубопроводов применяют наружные звенные и эксцентриковые центраторы и внутренние гидравлические, пневматические и механические центраторы. Использование на трубосварочных базах внутренних центраторов с самоходными устройствами значительно сокращает время сборки секций, повышает качество центровки и снижает трудоемкость процесса сборки.

Разработан механический внутренний центратор ЦВМ141, который предназначен для центровки поворотных и неповоротных стыков труб диаметром 1220 и 1420 мм с толщиной стенки до 20 мм.

Перемещение несамходных внутренних центраторов осуществляют устройствами типа СЦ с дистанционным управлением. Самходное устройство СЦ121 используют для перемещения внутренних центраторов при диаметре труб 720—1420 мм. При меньших диаметрах перемещение центраторов осуществляют лебедками или тягачами. Самходное устройство СЦ121 имеет привод от двигателя постоянного тока ДК908А мощностью 4 кВт с напряжением питания 50—65 В. Скорость передвижения до 1,1 м/с. Масса устройства 535 кг. В зарубежной практике широкое применение получили пневматические внутренние центраторы фирмы «Кроузе» (США) [3,4].

Механизированную газовую резку труб осуществляют малогабаритными переносными машинами «Спутник» и «Спутник-2», устанавливаемыми на трубу с помощью разборной цепи и натяжного устройства. Машины позволяют осуществлять резку перпендикулярно к образующей трубы со скосом кромок до 35°.

Для правки вмятин на кромках труб диаметром 630—1420 мм с толщиной стенки до 22 мм используют устройство УВП141. Правку осуществляют штоком гидроцилиндра с развиваемым усилием 294 кН. Ход штока — 60 мм. Масса устройства — 85 кг, поэтому для его переноски и установки на трубу необходимо грузоподъемное устройство.

Для вращения труб при автоматической сварке под слоем флюса используют вращатели торцовые типа ВТ — для труб диаметром до 1220 мм при длине секции до 36 м и вращатели роликовые типа СВР 142 — для трехтрубных секций диаметром 720—1420 мм.

При наличии промышленной сети переменного тока или передвижной электростанции ДЭС-50, ДЭС-100 в качестве источников сварочного тока рационально использовать выпрямители ВД-301 для ручной подварки корневого шва и ВКСМ-1000, ВДВ-1601 и ВКСУ 500х2 для автоматической сварки под флюсом.

Автоматизация сварочных процессов в базовых условиях осуществляется сварочными головками СФГ601, СФГ1004, ПТ56, сварочными тракторами типа ТС-17М, полуавтоматами для газозащитной сварки толкающего (А-547 и А-547Р) и тянущего (ПТВ-СОг) типов, автоматами ИК-6, СГУ-301.

При сварке труб диаметром 114—219 мм установки для электроконтактной сварки оснащают сварочными головками СП и СГС1У (ТКУС532), внутренними гратоснимателями ПВГ1 (ТКУС1А) и ВГ1 (ТКУС534), наружными гратоснимателями НГ1. При сварке труб диаметром 273—377 мм используют головки К397 и СГС2У (ТКУС534), внутренние гратосниматели ПВГ2 (ТКУС1А) и ВГ2, наружные гратосниматели НГ2. При сварке труб диаметром 426—530 мм применяют головки К389 и гратосниматели ВГ2 и НГ3.

Трубосварочные базы размещают на спланированных площадках размером от 40х50 до 150х150 м в зависимости от типа базы. Расположение базы относительно обслуживаемого участка трассы и пункта доставки труб в каждом конкретном случае определяется технико-экономическим расчетом.

При монтаже трубопровода в непрерывную нитку методом ручной дуговой сварки в качестве источников питания используют самоходные сварочные установки: двухпостовые УС21, УС22, СДУ2В и четырехпостовые УС41, УС42, УС43, СЧУ4, АЭП51.

Автоматическую газозлектрическую сварку неповоротных стыков осуществляют комплексами, включающими самоходные агрегаты внутренней сварки, автоматы наружной сварки, питающие самоходные установки, на которых смонтированы подъемные устройства с укрытием сварочных постов, два станка для обработки кромок, три трубоукладчика, машину или прицеп, оборудованные для перевозки ленточных колец (направляющих для автоматов наружной сварки), агрегат обслуживания. Комплексы КДГ122143 и КДГ142143 предназначены для автоматической газозлектрической сварки трубопроводов диаметром соответственно 1220 и 1420 мм. Годовая производительность комплекса при сварке трубопровода диаметром 1420 мм составляет 250 км.

Автоматическую сварку неповоротных стыков секций труб длиной до 36 м и диаметром 1220 и 1420 мм выполняют порошковой проволокой с использованием комплекса оборудования ОПС141. Сборку осуществляют на внутреннем центраторе с подкладным кольцом. В комплекс входят три сварочных аппарата и агрегат питания.

Трубы как в базовых, так и в трассовых условиях гнут холодным методом на станках типа ГТ (табл. 2) и УГТ. Для предотвращения гофрообразования и уменьшения овальности при гнутье труб большого диаметра применяют дорны. В комплект машин для гнутья труб входит трубоукладчик, предназначенный для установки трубы на станок, передвижения ее для повторениягиба и снятия со станка по окончании гнутья.

В трассовых условиях эффективны станки, оборудованные ходовым гусеничным устройством, которое облегчает перемещение станка вдоль трассы. Разработаны принципиально новые трубогибочные станки типа ГТУ и ГПВ, позволяющие гнуть трубу изнутри, в любой плоскости непосредственно по рельефу местности. На установке типа ГТУ гнутье труб осуществляется путем образования кольцевых эксцентричных гофр, равных 1—2 толщинам стенки трубы. Масса установки ГТУ122 для гнутья труб диаметром 1220 мм составляет 4,5 т, длина 2,55 м, ширина и высота 1,16 м. Масса и размеры установки позволяют использовать ее для гнутья полубесконечной нитки трубопровода. На установках типа ГПВ гнутье труб производят путем деформации их стенок по гибочному башмаку тороообразной формы. Установки оснащены самоходным устройством с дистанционным управлением. Скорость передвижения установки ГПВ 122 для гнутья труб диаметром 1220 мм составляет 311 м/ч. Общая установленная мощность равна 24,88 кВт. Станки типа ГПВ имеют преимущества при строительстве пневмотрубопроводов. Они обеспечивают гнутье без овальности.

Таблица 2

## Краткая техническая характеристика станков для гнутья труб

Показатели	ГТ531	ГТ1021	ГТ1221	ГТ1421	ГТ1422
Диаметр изгибаемой трубы, мм	219-530	720-1020	1220	1420	1220 и 1420
Толщина стенки трубы, мм	18	16	20	25	25
Средний угол изгиба (за один изгиб), градусы	2,7-9	1,5	1,1	1,1	0,8
Двигатель привода насоса: тип	A02-52-4 10	A02-71-4 22	A02-71-4 22	A02-71-4 22	A02-72-4 30
мощность, кВт	1	1	1	1	3
число двигателей					
Насос: тип	H-401E 0,3 1	H-401E 0,58 I	H-403E 0,58 1	H-403E 0,58 1	MHA-Ф-63/200 1,4 3
объемный расход, л/с					
число насосов					
Двигатель привода лебедки: тип	Гидравлический мотор	MTF112/6 5 1	MTF211/6 7,5 1	MTF211/6 7,5 1	ВЛГ-400А 3
мощность, кВт	НПА-64				
число двигателей	1				
Габаритные размеры, мм:	3930 1300	8870 1790	11 880 2 200	12 090 2190	9 730 4 050 3
длина ширина высота	2210	2780	2 700	2 950	720
Масса, кг	5769	23 00	36 000	35 000	45 880

Сварные соединения на трубосварочных базах проверяют в полустационарных лабораториях ЛКС2, оснащенных оборудованием для магнитографического контроля ПНУМ-1 и «Шагун-МБ (для секций труб диаметром 168—1420 мм), оборудованием для рентгеновского просвечивания РАП160-6П, ИРА1Д или ИРА12Д (для секций труб диаметром 720—1620 мм), разрывной машиной РМ50 или РМ4Г-20 (для испытания образцов на разрыв и изгиб) и фрезерным станком ВФ104 или 680-3Г. Лаборатория размещается в вагоне типа ВО-8М.

Автоматизированные комплексы рентготелевизионного контроля стыков труб диаметром 1220—1420 мм (АКТ1) разработаны в модификациях и используются на трубосварочных базах и в нитке трубопровода. Они включают в себя рентгеновский аппарат РАП-300-6П и телевизионную систему «Луч-3».

В трассовых условиях используют передвижные лаборатории РМЛ2 на базе автомобилей ГАЗ-66 и ПМЛ-5В на базе автомобиля УАЗ-452В. Лаборатория РМЛ2 укомплектована рентгеновским аппаратом ИРА1Д или ИРА2Д с тележкой, магнитографическим дефектоскопом МДУ-2У с намагничивающим устройством ПНУ-1М, бензоэлектрической станцией типа СПА-1. Передвижная магнитографическая лаборатория ПМЛ-5В предназначена для контроля магнитографическим способом. Намагничивание (запись) на ферромагнитную ленту осуществляют устройством ПНУ-2М, а считывание записи — дефектоскопом МДУ-2У с видимым и импульсным изображением дефектов. Лаборатория ПМЛ-5В укомплектована бензоэлектрической станцией типа СПА-1.

Контроль стыков в непрерывной нитке трубопроводов диаметром 1020—1420 мм с толщиной стенки до 25 мм методом панорамного просвечивания осуществляется автоматизированными самоходными комплексами АКП141 и АКП143 на базе автомобиля ЗИЛ-131. Производительность комплексов до 60 стыков в смену, скорости передвижения 15 м/мин (маршевая) и 8 м/мин (рабочая). Источниками излучения служат гамма-дефектоскоп «Магистраль» (АКП141) и рентгеновские аппараты РИНА2Д или РИНА1Д (АКП143). Глубина ввода самоходного устройства в трубопровод до 1,5 км, преодолеваемый уклон до 20°. Масса комплекса в снаряженном состоянии 8,3 т.

Число машин и оборудования зависит от методов сварки, условий строительства, однако в любом случае обязательным условием является комплектность основного и вспомогательного оборудования.

Уровень механизации и автоматизации сварочно-монтажных процессов значительно влияет на численность рабочих, механо- и энерговооруженность труда. Так, переход от ручной дуговой сварки неповоротных стыков к автоматической позволяет сократить численность рабочих в 3 раза и повысить энерговооруженность труда. Сварка на базах типа БТС за счет механизации всех процессов позволяет сократить численность рабочих в 4 раза. Энерговооруженность труда при этом возрастает в 4,5 раза. Автоматизация контроля сварных соединений и обработки его результатов сокращает численность персонала в 6—8 раз.

Работы по ликвидации захлестов и монтажу запорной арматуры выполняют специализированные бригады, машинооснащение которых включает комплект машин для проведения сварочно-монтажных, земляных и изоляционных работ. В горных районах сварочно-монтажные работы характеризуются резким увеличением числа криволинейных вставок на вертикальных и горизонтальных углах поворота, необходимостью вести монтаж на крутых продольных уклонах. Многообразие условий проведения работ в горах предопределяет многообразие их схем. В горах трубопровод редко монтируется в непрерывную нитку из трехтрубных секций, так как даже к участкам трассы со спокойным рельефом местности от трубосварочной базы необходим подъезд по ровной дороге, что часто связано со значительными объездами и экономически не оправдано. Обычно трубопровод сваривают в нитку методом последовательного наращивания из отдельных труб, двухтрубных секций или укрупненных элементов, смонтированных непосредственно на трассе.

### **Механизация изоляционно-укладочных работ**

В комплект машин для проведения изоляционно-укладочных работ входят трубоукладчики, очистные и изоляционные машины, установки для сушки трубопровода, битумоза-правщики. При изоляции трубопроводов битумно-резиновыми мастиками в состав машин дополнительно включают два—четыре битумовоза (в зависимости от расстояния и дорожных условий), а изоляционные машины типа ИЛ заменяют машинами типа ИМ. Кроме того, необходимо оборудовать битумоплавильную базу, состоящую из битумоплавильных котлов

УБК161 производительностью 2400 кг/ч или УБК81 производительностью 1200 кг/ч. Базы комплектуют ленточным транспортером ТЛ61, станками для рыхления резиновой крошки СРК и резки рулонных материалов СРБ, приспособлением для резки битумной мастики РМ451, грунтосмесителем ГС241 [1,4].

Типы машин и их число зависят от диаметра трубопровода, вида изоляционного покрытия и технологии проведения работ. Очистные и изоляционные машины классифицируют по функциональному назначению. Они могут быть очистными, изоляционными, комбинированными; предназначенными для очистки поверхности трубопровода, стыков труб, изоляции наружной и внутренней поверхности трубы. По конструктивному исполнению, характеризующему мобильность, машины подразделяют на самоходные, передвижные, переносные, полустационарные и стационарные.

Очистные машины по принципу очистки подразделяют на пескоструйные, машины для механической очистки и др. Подразделение очистных машин зависит также от использованного в них очистного инструмента (скребки, щетки, иглофрезы) и конструктивного исполнения его (круглые, плоские, цилиндрические щетки и т. д.).

Очистные машины типа ОМ и ОМЛ имеют неразъемный рабочий орган. Очистными инструментами являются плоские или круглые (ОМ113) щетки и скребки. Разработана система дистанционного управления очистными машинами. Для очистки коротких участков трубопроводов диаметром 114—529 мм применяют портативные очистные машины ПОМ161,

Изоляционные машины в зависимости от технологического назначения классифицируют на машины для нанесения пленочных одно- и двухслойных покрытий, порошкообразных и жидких полимерных покрытий в стационарных условиях; машины для нанесения одно- и двухслойной изоляции на битумной основе; машины для жировой смазки и металлизации.

Машины типа ИЛ для изоляции полимерными лентами и ОМ 1422 имеют по четыре шпули, что позволяет наносить двухслойную изоляцию. Для механизации процесса нанесения второго слоя битумной изоляции разработана специальная машина. На строительстве трубопроводов используют комбинированные машины для очистки и изоляции трубопроводов. Они оборудованы устройствами для заправки шпуль, системой отсоса пыли.

Применение комбинированных машин позволяет вдвое уменьшить число машинистов на очистке и изоляции трубопровода и улучшает режимы работы механизированных колонн, так как снимается технологическое ограничение на проведение работ при выпадении осадков.

На его основе разработаны установки типа СТ. Фирма «Кроузе» (США) выпускает установки с инфракрасными излучателями.

В практике строительства все шире используют трубы с изоляционным покрытием, которое наносят как в заводских условиях, так и на трубозаготовительных базах, оборудованных технологическими линиями для очистки и изоляции труб типа ПТЛ1 (диаметр труб 89—273 мм, длина до 36 м), ОИ142 (диаметр труб 1020—1420 мм, длина 24—36 м), УИ142 (диаметр труб 720—1420 мм, длина 12—24 м), УНИ141 (диаметр труб 529—1420 мм, длина 6—12,5 м).

Использование троллейных подвесок с эластичными катками позволяет непрерывно укладывать трубопровод с помощью комплекта машин. При использовании полотенец ленточного типа изолированный трубопровод укладывают в траншею путем последовательного перемещения отдельных трубоукладчиков по ходу строительства. При этом последний в колонне трубоукладчик, освободившись от нагрузки, продвигается вплотную к предпоследнему трубоукладчику и включается в операцию подъема трубопровода, освобождая его от нагрузки. Таким же образом проводится последовательная замена остальных трубоукладчиков. Их число в колонне возрастает по сравнению с непрерывной укладкой для трубопроводов диаметром 720—1220 мм на один, а 1420 мм — на два. Работы по электрохимической защите трубопроводов от коррозии проводят с помощью комплекта машин, в который входят передвижная лаборатория электрохимической защиты ПЭЛ-ЭХЗ, автокран КС-2561, одноосный прицеп ГАЗ-704, дефектоскоп РИД-21Г, комплект оборудования для термитной сварки, набор инструмента для пайки проводов, битумный котел ИСТЗБ, легковая автомашина УАЗ-452, автомашина ГАЗ-66, трактор-тягач К-700. При использовании машины МЗК-2 из комплекта оборудования исключают цепной экскаватор ЭТЦ-161, электростанцию ПЭС-15Л, сварочный агрегат ПСО-300А.

Для контроля качества нанесения изоляционных покрытий используют полустационарные (типа ЛИП1 на базе вагона ВО-10) и передвижные (типа ЛИА1 на базе автомашины УАЗ-452) лаборатории. Они оснащены комплектом приборов для входного контроля изоляционных материалов и пооперационного контроля изоляционно-укладочных работ.

Механизация изоляционно-укладочных работ в сыпучих песках усложняется из-за необходимости увеличения ширины траншеи поверху, поэтому в комплекты машин для совмещенного способа укладки обычно добавляют по одному трубоукладчику [6].

В горных районах применяют совмещенный, а на сложных участках — раздельный способы укладки. Наиболее сложные участки с продольными уклонами свыше 30° требуют в ряде случаев разработки специальных технологических схем. На продольных уклонах 10—18° трубоукладчики для предотвращения от сползания соединяют попарно тросами.

### **Комплекты машин и оборудования для очистки полости и испытания трубопроводов**

К основному специальному оборудованию, применяемому для очистки полости и испытания магистральных трубопроводов, относятся компрессоры низкого и высокого давлений, наполнительные и опрессовочные агрегаты, поршни, разделители, контрольно-измерительная аппаратура и узлы соединения агрегатов. Компрессоры низкого давления служат для продувки трубопроводов. Из них наиболее широко используют компрессоры марок ЗИФ-55, КС-9, ДК-9, ПК-Ю с давлением нагнетания 588—686 кПа и подачей 5—10,5 м<sup>3</sup>/мин. Для испытания трубопроводов диаметром до 400 мм применяют компрессоры АКС-8

и УКП-80, свыше 400 мм — компрессор КС-16/100 с давлением нагнетания 98 МПа и подачей 16 м<sup>3</sup>/мин.

Наполнение трубопроводов в процессе гидравлических испытаний осуществляют наполнительными агрегатами АН2, АН151, АН261, АН501, АН1002 и АН3001, опрессовку — агрегатом А02 и А0161. Кроме того, применяют наполнитель-опрессовочные агрегаты АНО201, позволяющие выполнять последовательно обе операции.

Продувку и промывку трубопроводов производят с помощью комплекта устройств, включающих очистные и герметизирующие элементы. В него входят поршни типа ОП, эластичные разделители ДЗК, пластиковые манжетные разделители ДЗК-РЭМ, очистные поршни-разделители типа ОПР-М, манжетные разделители для трубопроводов переменного сечения типа РМ-ПС.

Эластичные разделители типа ДЗК применяют для очистки полости и испытания трубопроводов диаметром до 1220 мм. Их изготавливают из пенополиуретана. Эти разделители просты по конструкции и технологичны в изготовлении, требуют небольшого перепада давления, необходимого для перемещения по трубопроводу, и имеют большую контактную площадь соприкосновения с трубопроводом, возможность прохода через кривые вставки радиусом 1,5 D, небольшую массу в сухом состоянии.

Разделители манжетные типа РМ-ПС предназначены для очистки полости трубопроводов, имеющих местные сужения (неполнопроходные краны, вставки меньшего диаметра и т. д.).

Разделители эластичные манжетные типа ДЗК-РЭМ предназначены для промывки полости строящихся трубопроводов; освобождения трубопроводов от воздуха в процессе их наполнения водой для гидравлического испытания, нефтью и нефтепродуктами, а также для освобождения трубопроводов, в том числе подводных переходов, от воды, оставшейся в них после гидравлического испытания или балластировки; очистки полости действующих газопроводов от конденсата и отложений; разделения разнородных продуктов при их последовательной перекачке по одному трубопроводу. Они сочетают в себе преимущества разделителя типа ДЗК и манжетного разделителя типа РМ-ПС, обладают способностью самоцентрироваться и обеспечивают плотный контакт манжет со стенкой трубопровода. Разделитель состоит из пенополиурета новых размещенных цилиндров, между которыми находятся самоуплотняющиеся манжеты.

При испытаниях трубопроводов на прочность и при проверке на герметичность для измерения давлений применяют дистанционные приборы типа «Контролер» или манометры класса точности не ниже 1,5 с предельной шкалой на давление от испытательного, устанавливаемые вне охранной зоны.

Компрессорные станции можно использовать индивидуально или объединяя их в группы. В последнем случае нагнетательные трубопроводы каждого компрессора подключают к коллектору, по которому воздух подают к ресиверу. Комплексное использование машин позволяет повысить темпы и надежность работ по закачке, в том числе при отказах машин, полнее использовать мощность машин и рационально организовать подвозку горюче-смазочных материалов, снабжение электроэнергией, запасными частями [8].

Наполнительные агрегаты в зависимости от их подачи, диаметра и протяженности испытываемого участка используют индивидуально или группами. Групповые схемы подключения более надежны и производительны.

Однако в ряде случаев более эффективно применение одного высокопроизводительного агрегата, например АН3001. Для повышения надежности работы групп наполнительных агрегатов схемы их подключения выполняют с раздельным запуском и остановкой каждого агрегата, предусматривают возможность аварийного спуска воды из корпусов насосов, подводящих патрубков и коллектора. На выбор места расположения групп агрегатов влияет ряд факторов: обеспечение возможности испытания участка значительной протяженности, минимальные потери на перебазирование техники, наличие дорог и подъездных путей. Значительный эффект дает двусторонняя схема испытаний, при которой агрегаты устанавливают в средней части участка, разделяя его на два плеча, испытываемых самостоятельно. При этом узел подключения выполняют так, чтобы наполнение и подъем давления в каждом плече можно было производить независимо от состояния работ на другом плече.

Для предохранения от всплытия в заболоченных и обводненных районах трубопровод необходимо закреплять пригрузами, анкерными устройствами или осуществлять монтаж и укладку трубопровода из предварительно обетонированных труб. В практике строительства широко распространено закрепление трубопровода железобетонными пригрузами седловидной конструкции с установкой их на трубопровод кранами или трубоукладчиками. Седловидные пригрузки отличаются простотой конструкции, но из-за расположения центра тяжести выше оси трубопровода недостаточно надежно его фиксируют. В связи с этим разработан ряд конструкций пригрузов повышенной надежности. К ним относятся пригрузки, защемляющиеся на трубопроводе, а пригрузки с центром тяжести ниже оси трубопровода [9].

В комплект машины необходимо включать сменное оборудование для экскаваторов: обратную лопату и драглайн. На переходах через водотоки в комплект машин при необходимости включают оборудование для скреперной разработки подводной траншеи, которое используют также для протягивания дюкера. В ряде случаев используется также водолазное снаряжение.

### **Механизация трудоемких процессов и сокращение затрат ручного труда**

В 60-х годах создаются первые специализированные отечественные машины, позволившие комплексно механизировать процессы сооружения магистральных трубопроводов. На строительстве газопроводов использовались роторные экскаваторы ЭР2, ЭР3, ЭР4, одноковшовые экскаваторы Э-505 с вместимостью ковша 0,5 м<sup>3</sup>. К 1960 г. парк машин пополнился экскаваторами ЭР5, ЭР6 и ЭР7, бульдозерами на базе тракторов С-80, С-100, экскаваторами Э-652. К 1950 г. вручную выполнялось 25 % от общего объема работ по очистке изоляции трубопроводов. Появились отечественные очистные (С-238) и изоляционные (С-239) машины, а к 1960 г. очистные машины ОМЛ1 и ОМЛ4 [13].

С 1965 г. стали использовать автоматическую сварку под слоем флюса с применением сварочных тракторов ТС-17М, а затем полуавтоматов с головками типа ПТ-6, ПШ-5 и ПТ-56. С внедрением механизации сокращались трудовые затраты. На сборке труб в секции они составляли в 1950 г. — 512 чел/ч, в 1960 г. — 113 чел/ч, на сборке звеньев труб в плетень — соответственно 142 и 86 чел/ч, на сварочных работах — 692 и 117 чел/ч. Дальнейший интенсивный рост парка машин отрасли позволил повысить механовооруженность труда в 2,3 раза и довести уровень комплексной механизации работ по сооружению магистральных трубопроводов до 99,6%. Оснащенность строительно-монтажных организаций машинами и оборудованием возросла в 5—7 раз, парк грузовых автомобилей увеличился в 4 раза, балансовая стоимость активной части основных производственных фондов — в 22 раза.

Технологические процессы сооружения линейной части магистральных трубопроводов предусматривают выполнение основных и вспомогательных работ с применением машин и механизмов. В сравнении с наземными объектами на строительстве линейной части удельный вес затрат ручного труда в 1,6—1,7 раза ниже. Однако имеются резервы дальнейшей механизации труда, и их реализация не менее важна, чем в наземном строительстве, поскольку условия труда на трассе сложнее, чем на площадочных объектах.

Результаты механизации и автоматизации труда сказываются не только в сокращении численности рабочих, выполняющих работу вручную, т. е. IV и V групп (по классификации ЦСУ). Главная задача на современном этапе — переход рабочих в более высокую группу (из II в I, из III во II). Это значит, что этап количественного насыщения парка машин для трубопроводного строительства в основном завершен и задача состоит в применении более современных машин. Для управления такими машинами требуются высококвалифицированные операторы. Отпадает необходимость в выполнении при машинах ручных работ. Например, внедрение контактной сварки на установках ТКУС, ТКУП, «Север», трубосварочных баз типа БТС коренным образом меняет профессиональный состав рабочих и сокращает их численность в 4 раза. В последние годы наблюдается снижение затрат труда по V группе. Это связано как с увеличением выпуска передвижных и полустационарных мастерских для обслуживания и ремонта машин, так и с совершенствованием организационных форм и методов ремонта. О масштабах сокращения затрат ручного труда и общей численности рабочих в отрасли можно судить по результатам анализа изменений численности рабочих в расчете на 1 млн. руб. строительно-монтажных работ.

С 1959 по 1975 г. удельный вес ручного труда сократился на 14,6%, т. е. ежегодное сокращение составляет около 1 %. В основном снижение идет за счет IV группы, т. е. за счет внедрения средств механизации на наиболее трудоемких ручных работах. Следовательно, в рассматриваемый период основным направлением сокращения затрат ручного труда было количественное увеличение средств механизации. Об этом свидетельствует и примерно одинаковый уровень численности рабочих IV группы, куда входят помощники машинистов, такелажники и другие рабочие, занятые обслуживанием машин.

Использование технологических решений на всех видах работ позволило уменьшить численность рабочих, которые заняты на работах, выполняемых

механизированным способом труда и вручную. Так, например, в результате изменения технологии изоляции трубопроводов численность изолировщиков сократилась в 5,2 раза.

Снижение общей численности рабочих за рассматриваемый период — результат не только количественного увеличения применяемых машин, но и их качественных изменений, связанных с повышением единичной мощности и производительности. Так, численность машинистов бульдозеров снизилась на 30%. машинистов роторных экскаваторов — в 4,2 раза, а машинистов трубоукладчиков — в 3,4 раза.

Оценку влияния на сокращение затрат труда изменений в области конструктивных решений, технологии и организации строительства магистральных трубопроводов можно дать, проанализировав динамику сокращения численности рабочих по профессиям в расчете на 1 км сооружаемого трубопровода.

Снижение численности рабочих, занятых на сооружении магистральных трубопроводов из расчета на 1 км, свидетельствует о том, что несмотря на увеличение диаметра и усложнение условий строительства, темпы постоянно возрастали, что и явилось причиной относительного снижения затрат труда.

Дальнейшее снижение затрат ручного труда и общей численности рабочих на линейном строительстве — одна из главных задач научно-технического прогресса. Анализ показывает, что имеется ряд факторов, определяющих удельный вес ручного труда. К ним относятся отсутствие в строительной организации машин, средств малой механизации и оснастки, невозможность применения имеющихся средств механизации по условиям конструкции объекта и технологии его сооружения, экономическая нецелесообразность применения средств механизации ввиду малых объемов работ и др. Изучение перечисленных факторов позволяет выявить причины затрат ручного труда на основных трудоемких операциях и разработать мероприятия по их механизации или исключению путем совершенствования конструктивных решений и технологии проведения работ [2,4].

Затраты ручного труда при инженерной подготовке строительства трубопроводов составляют около 40 %, а при строительстве лежневых дорог и подъездов к трассе — 70%. Наибольшие затраты ручного труда наблюдаются при таких технологических операциях, как валка леса, обрубка сучьев, разделка и сбор хлыстов. В горных условиях большие затраты ручного труда кроме указанных операций связаны с устройством противообвальных и оползневых сооружений.

Существенными резервами сокращения объема ручных работ и повышения производительности труда при проведении подготовительных работ можно считать внедрение многооперационных машин, выполняющих комплекс технологических операций по валке и обработке древесины, механизацию процессов строительства лежневых дорог, внедрение инвентарных элементов для лежневых дорог.

При проведении погрузочно-разгрузочных работ также наблюдаются значительные затраты ручного труда, которые в общем объеме работ составляют около 20%. Они связаны с такими технологическими операциями, как строповка и

расстроповка различных грузов, укладка их в штабеля, подкладка прокладок под изделия.

При проведении изоляционно-укладочных работ затраты ручного труда достигают 20—22 % от общего объема работ. Основные из них связаны с процессами приготовления битумной мастики и заправки шпульт изоляционными и армирующими материалами.

Наиболее существенные резервы повышения производительности труда в области противокоррозионной защиты — использование труб, изолированных в заводских условиях, применение полимерных липких изоляционных лент, а также усовершенствование передвижных битумоплавильных установок, механизация трудоемких операций по разгрузке, колке и чистке битума путем организации «пакетного способа», его доставки, внедрение машин для нанесения двухслойного битумного покрытия.

Объем затрат ручного труда при проведении сварочно-монтажных работ составляет 40—43 %. Они связаны с операциями по правке и зачистке кромок трубы, центровке, прихватке и сварке вручную, удалении грата и др. Широкое внедрение автоматической сварки на базах типа БТС, установок для электроконтактной сварки, комплексов газоэлектрической сварки, средств малой механизации позволяет свести к минимуму затраты ручного труда при сварочно-монтажных работах [14].

В связи со значительным увеличением производительности сварочно-монтажных работ и повышением требований к качеству строительства резко увеличились объемы работ по неразрушающему контролю качества сварных соединений. Автоматизация наиболее трудоемких процессов контроля и необходимых вспомогательных операций диктуется спецификой применяемых методов контроля. При радиографическом методе контроля автоматизируются процессы просвечивания сварных соединений в нитке трубопровода и на трубосварочных базах, процессы выбора режимов просвечивания (разработка экспонетрических устройств, автоматически определяющих оптимальные режимы просвечивания исходя из параметров просвечиваемой трубы, типа применяемой пленки, вида источника излучения), механизированы и автоматизируются процессы фотообработки. При ультразвуковом контроле основными направлениями сокращения затрат труда являются механизация и автоматизация процессов прозвучивания металла сварного шва, автоматизация процессов расшифровки и документирования результатов ультразвукового контроля, механизация вспомогательных операций. Автоматизация процессов расшифровки и документирования результатов ультразвукового контроля предполагает создание машинных устройств, реализующих машинную обработку принятых ультразвуковых сигналов для определения формы и характера дефектов сварного шва и дающих документированное заключение о качестве сварного шва по заданным критериям. Механизация и автоматизация ручных работ при магнитографическом контроле сварных швов предполагает механизацию процессов намагничивания сварного стыка, автоматизацию процессов расшифровки и документирования результатов магнитографического контроля.

Механизация процессов намагничивания реализуется с помощью самоходных устройств, проводящих намагничивание участками последовательно

по всему периметру трубы («Шагун-М1») или устройств типа «механическая рука» с клещевым захватом и намагничиванием сразу по всему периметру сварного шва. Автоматизация процессов расшифровки и документирования результатов магнитографического контроля достигается с помощью электронных устройств, проводящих машинную обработку отпечатков магнитных полей дефектов с магнитной ленты и дающих документированное заключение о качестве сварного шва по заданным критериям [6].

Затраты ручного труда на земляных работах при строительстве линейной части трубопровода могут быть сокращены за счет увеличения удельного веса объема земляных работ, выполняемых более экономичными типами землеройных машин, т. е. за счет максимального использования для рытья траншей роторных экскаваторов, применения роторных экскаваторов на песчаных и увлажненных грунтах.

Техническое обслуживание строительных машин часто осуществляется эксплуатационным персоналом, в распоряжении которого находится набор ручных инструментов для проведения заправочных, смазочных, регулировочных, крепежных и других операций. Это определяет значительные затраты ручного труда и времени на выполнение технического обслуживания. Трудоемкость всех видов технического обслуживания строительных машин различной сложности составляет 350— 600 чел. на каждую тысячу часов чистого времени работы машины. Создание высокопроизводительных машин, как правило, сопровождается усложнением их конструкции, что, в свою очередь, требует значительных трудовых и материальных затрат на техническое обслуживание и ремонт. Резервами дальнейшего повышения производительности труда ремонтных рабочих и снижения затрат ручного труда являются внедрение централизованного технического обслуживания строительных машин (ЦТО), диагностики технического состояния машин для своевременной оценки их технического состояния и установления фактического объема работ, организация диспетчерской службы и оперативной двусторонней радиосвязи.

## ГЛАВА 4. РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МАШИН

### Специфика режимов работы машин в трубопроводном строительстве

Производительность различных комплектов машин при поточных методах строительства должна быть строго согласована. Достичь этого можно не только подбором машин с соответствующими техническими характеристиками, но и такой организацией механизированных процессов, при которой эксплуатационная производительность комплектов машин в постоянно изменяющихся условиях проведения работ имела бы незначительные отклонения от расчетных значений. Для того чтобы рассчитать эксплуатационную производительность и правильно организовать работу машин, необходимо изучить продолжительность и частоту перерывов в работе машин и причины, их вызывающие, а также разработать мероприятия по сокращению непроизводительных затрат времени [6,8].

Во всех строительных организациях разрабатывают мероприятия, направленные на улучшение использования машин, и ведут контроль за их выполнением. Однако большинство мероприятий можно внедрить только при едином и целеустремленном подходе всех участников строительства — от машиниста до руководителя — к учету и контролю использования машин. Контроль часто сводится к оценке результатов работы — выработке конечной продукции, что действительно является самым важным. Однако при равной выработке нескольких механизированных колонн в примерно одинаковых условиях производства использование машин может быть различным. Например, в одной колонне хорошо организовано техническое обслуживание машин. Они редко выходят из строя, а следовательно, и мало простаивают. В другой колонне отказов гораздо больше, но за счет сокращения операций получен выигрыш во времени, в третьей — более удачно подобран комплект машин и т. п. В каждом рассмотренном случае имеются как достижения, так и недоиспользованные резервы, хотя результаты (выработка) одинаковы. Выявить эти резервы количественно можно только путем сравнения с эталоном, в котором дифференцированы и регламентированы по продолжительности все элементы процесса работы машин.

Основным рабочим инструментом учета и контроля работы машин в течение смены должны служить сменные эксплуатационные режимы работы машин и их комплектов. Однако эти режимы и рассчитанные на их основе показатели эксплуатационной производительности не заменяют производственных нормативов и не могут быть использованы для оплаты труда рабочих. Назначение сменных эксплуатационных режимов заключается в изыскании резервов перевыполнения производственных норм путем правильного выбора машинооснащения процессов, максимального совмещения рабочих процессов, операций и приемов, что сокращает перерывы в работе комплектов машин за счет своевременного и качественного технического обслуживания машин, повышения организации и культуры производства.

В трубопроводном строительстве при проведении линейных работ из-за специфики их технологии принят суточный цикл, поэтому производительность комплектов машин должна согласовываться в пределах суток. В зависимости от

объемов работ и машинооснащения процессов согласование производительности можно осуществлять путем варьирования коэффициентов сменности на различных видах работ. С этой целью проектируют суточные режимы работы машин, в которых предусматривают наиболее полное использование высокопроизводительной техники, например мощных трубоукладчиков, бульдозеров, кранов, компрессоров и др. Простой механизированного комплекса из 200—300 машин в течение дня или смены приводит к крупным убыткам, поэтому необходимо планировать работу машин в течение года. Годовые эксплуатационные режимы работы машин и их комплектов позволяют предусмотреть все виды таких перерывов и простоев, наметить пути их сокращения и определить эксплуатационную годовую производительность.

Эксплуатационные режимы работы используют в следующих случаях:

- планирование работы машин, их комплектов и механизированных комплексов;
- разработка показателей часовой, сменной, суточной и годовой выработки машин и их комплектов;
- определение числа машин и составов механизированных колонн для сооружения конкретных объектов;
- составление планов проведения технического обслуживания и ремонта машин;
- определение планово-расчетных цен на эксплуатацию машин и расчеты экономической эффективности средств механизации;
- анализ фактического использования машин и разработка мероприятий по повышению выработки машин и их комплектов.

Методам разработки режимов работы машин посвящены исследования крупных советских ученых: доктор технических наук Н. Г. Домбровский разработал методику составления режимов работы с учетом сменности, проф. Н. В. Мельников исследовал зависимость режимов работы от типа силового оборудования машины (паровое, дизельное, электрическое с различным числом двигателей). Дальнейшее развитие методы установления режимов работы машин нашли свое отражение в трудах Академии строительства и архитектуры, а также в разработках доктора технических наук, проф. С. В. Башинского, д-ра эконом. наук, проф. С. Е. Канторера, инж. Л. И. Бланка и др. На базе этих исследований разработаны и утверждены «Методические указания по определению годовых режимов работы и эксплуатационной производительности строительных машин». В дополнение к этим указаниям ВНИИСТ разработал методические указания, учитывающие специфику работы машин, используемых на сооружении линейной части магистральных трубопроводов [12].

Режимы работы и эксплуатационная производительность машин в трубопроводном строительстве определяются рядом факторов: диаметром трубопровода, типом изоляционного покрытия, параметрами и конструкцией используемых машин, внутрикомплектной и межкомплектной взаимосвязью, гидрогеологическими, топографическими и метеорологическими условиями проведения работ и др. Перерыв в работе взаимосвязанного комплекта машин происходит при остановке любой из машин, поэтому в режимах работы нужно добиваться максимального совмещения неустраняемых перерывов в работе всех машин комплекта. Структура рабочего времени должна предусматривать возможные перерывы с учетом конструктивных и эксплуатационных

особенностей всех машин, входящих в комплект. Следовательно, классификация и структура распределения внутрисменного и годового времени в условиях строительства трубопроводов должны быть более дифференцированными по сравнению с общими методическими указаниями.

Следствие тесной внутрикомплексной взаимосвязи — принцип единства режимов работы машин комплекта. Это значит, что сменные, суточные и годовые режимы работы должны составляться не для отдельных машин, а для всего взаимосвязанного комплекта машин с учетом достижения минимальных (неустраняемых и случайных) перерывов в работе всего комплекта.

Планово-предупредительный ремонт машин, входящих в механизированный комплекс, не должен приводить к простоям всего комплекса. Это достигается путем замены подлежащих ремонту машин резервными. В годовом режиме, который должен быть единым для всего комплекса, перерывы на планово-предупредительный ремонт не предусматриваются.

Для подразделений трубопроводного строительства характерна автономия в области решения организационных и хозяйственных вопросов, поэтому деление простоев по организационным причинам на зависящие и не зависящие от административно-технического персонала, как это принято в работ, нецелесообразно. Исключение могут составлять режимы работы стационарных и полустационарных сварочно-монтажных и изоляционных баз, приводы рабочего оборудования которых питаются от ЛЭП.

В трубопроводном строительстве важное место в режиме работы комплектов машин занимают предусмотренные организацией проведения работ организационно-технологические перерывы, зависящие от хода смежных процессов. При работе механизированными комплексами, сгруппированными на минимальном по длине участке трассы с учетом допускаемых технологических заделов, невозможно достичь равномерной в течение суток линейной скорости комплектов машин в потоке. Неравномерность скоростей обусловлена различием объемов и трудоемкости отдельных видов работ. В результате снижения скорости или перерыва в работе на одном из процессов возникают перерывы в работе на смежных взаимосвязанных процессах. Например, изоляционно-укладочная колонна может простаивать из-за отсутствия траншеи или сваренного в нитку трубопровода, т. е. операций, предшествующих изоляции и укладке, а также из-за несвоевременной засыпки уложенного в траншею трубопровода, т. е. операции, следующей после изоляции и укладки. В свою очередь остановка изоляционно-укладочной колонны приводит к перерывам в работе машин на разработке и засыпке траншеи. Перечисленные перерывы являются организационно-технологическими только в том случае, когда по условиям выполнения работ возникают тесные технологические взаимосвязи, регламентируемые технологией проведения работ.

## **Классификация времени использования комплектов машин в трубопроводном строительстве**

В течение смены, суток и года машины или комплекты машин не всегда находятся в работе. В ряде случаев их остановка обусловлена технологией и организацией проведения работ, требованиями по эксплуатации машин, правилами техники безопасности и охраны труда рабочих. Остановки машин по этим причинам принято называть перерывами. Кроме того, остановки машин происходят из-за плохой организации производства и труда или невозможности проведения работ по метеорологическим причинам. Такие остановки классифицируют как простои [4,5].

В трубопроводном строительстве классификация времени использования комплектов машин производится с разбивкой перерывов на следующие группы:

- перерывы по конструктивно-техническим причинам, включающая техническое обслуживание машин и замену рабочего оборудования;
- технологические перерывы, определяемые спецификой технологии проведения работ;
- перерывы по организационно-технологическим причинам, которые разделяют на зависящие и не зависящие от хода смежных процессов;
- перерывы по метеорологическим причинам;
- перерывы по организационным причинам, зависящие от административно-технического персонала строительства.

Наличие простоев по организационным причинам свидетельствует о нарушении принятой организации проведения работ, а их фактическая продолжительность характеризует степень отступления от проекта проведения работ и выражается коэффициентом внутрисменного использования полезного рабочего времени. Полезное рабочее время включает время работы и перерывы, предусмотренные принятой организацией работ.

Перерывы по конструктивно-техническим причинам включают ежесменное техническое обслуживание машин, заправку их горюче-смазочными материалами, время на запуск, остановку и передачу смен. Организовывать работу следует так, чтобы ежесменное техническое обслуживание выполнялось во внесменное время специализированными бригадами, а в течение смены машинистами. Во внесменное время можно выполнять подготовку к пуску машин при низких температурах. Продолжительность перерывов по конструктивным причинам существенно меняется в зависимости от организации работ по обслуживанию машин. Кроме того, время на подготовительно-заключительные работы уменьшается при увеличении коэффициента сменности и использовании механизированных средств подогрева и обслуживания машин.

Перерывы по организационно-технологическим причинам, не зависящим от хода смежных процессов, включают в себя время на монтаж, демонтаж и переезды машин при прохождении разрывов непрерывной нитки трубопровода (на границах участков, в местах врезки катушек и арматуры и т. д.), переезды экскаваторов на новые захваты и перерывы, обусловленные взаимосвязанностью в работе машин и их комплектов. Продолжительность организационно-технологических перерывов на взаимосвязанных процессах зависит от

машинооснащения и организации работ. Например, процесс сборки и прихватки неповоротных стыков взаимосвязан с процессом сварки последующих слоев шва. В зависимости от числа сварщиков, сварочных постов или установок для автоматической сварки организационно-технологические перерывы могут быть различной продолжительности. Продолжительность перерывов на отдых также зависит от организации труда и быта рабочих. Таким образом, время работы машин характеризует уровень планируемой организации работы машин. Отношение времени работы машин к сменному времени называется коэффициентом использования времени работы. Этот коэффициент характеризует уровень принятой организации работ машин и степень отклонения от него.

Определением чистого времени работы машин фактически завершается анализ внутрисменного использования машин по времени, хотя производительность машин и их комплектов при неизменном может значительно колебаться в зависимости от рабочей скорости.

Первостепенное назначение режимов работы машин заключается в выявлении резервов повышения производительности. Следовательно, и классификация элементов использования машин должна быть направлена на ускорение и упрощение поиска резервов времени. Если рассмотреть представленную выше классификацию с этих позиций, можно выделить три основные группы резервов.

Первая группа, ограниченная временем работы машин имеет потенциальные возможности сокращения технологических перерывов и реализуется на стадии разработки технологического процесса проведения работ, выбора материалов, разработки параметров и конструкции машин. Вторая группа ограничена полезным рабочим временем машин и временем работы. Продолжительность перерывов этой группы зависит от машинооснащения процессов, организации работы машин на трассе и других организационных факторов, заложенных в проектах производства работ. Третья группа — простои. Их продолжительность зависит от полноты и качества выполнения требований по технологии и организации проведения работ. Каждой из трех групп соответствует коэффициент внутрисменного использования, позволяющий количественно оценить варианты планируемых режимов работы машин и данные по фактическому использованию машин и их комплектов. Схемы структуры внутрисменного использования машин проектируют в рамках приведенной выше классификации для конкретных видов работ путем дифференцирования элементов внутрисменного использования машин. В схемах структуры целесообразно предусматривать все периодически встречающиеся в практике строительства и характерные для процесса перерывы, независимо от того, возможны ли они при правильной технологии и организации проведения работ или являются результатом отклонения от них. Дифференциация позволяет глубоко проанализировать причины возникновения перерывов и разработать мероприятия по совершенствованию технологии, организации проведения работ и созданию новой техники [3,4].

## **ГЛАВА 5. ФОРМИРОВАНИЕ ПАРКА МАШИН И ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ МЕХАНИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

### **Методы определения потребности в строительных машинах**

Совершенствование комплексной механизации и автоматизации строительства направлено на оснащение строительных подразделений машинами и механизмами, отвечающими по своим техническим параметрам достижениям науки и техники, а по своему составу — объемам и структуре выполняемых работ.

Парком машин называется совокупность машин по строительству в целом и отдельным строительным организациям. Парк машин строительной организации включает в себя числящиеся на балансе и привлекаемые со стороны строительные машины.

Внедрение в практику строительства линейной части магистральных трубопроводов новых форм организации строительства с использованием механизированных комплексов позволило достигнуть высоких темпов сварочно-монтажных, земляных и изоляционно-укладочных работ, сократить простои, улучшить использование машин и механизмов, а также повысить производительность труда. Механизированный комплекс представляет собой совокупность взаимосвязанных специализированных комплектов машин, обеспечивающих поточное комплексно-механизированное выполнение работ, результатом проведения которых является готовый к эксплуатации магистральный трубопровод. Комплект машин — это специализированная группа машин, взаимоувязанных по производительности, объединенных основным конструктивным параметром трубопровода — диаметром (группой диаметров) трубы — и обеспечивающих комплексно-механизированное выполнение определенного вида работ [6].

Целенаправленное управление изменением номенклатуры и структуры парков машин на всех иерархических ступенях является процессом формирования парков машин. Подразделения, находящиеся на более низкой иерархической ступени, формируют парк машин путем распределения парка машин организации, находящейся на более высокой ступени, например парк машин министерства распределяется по производственным объединениям и главным строительным управлениям. Распределение машин — оперативная составляющая процесса формирования. Наряду с оперативными задачами формирование парка машин преследует стратегические, включающие развитие парка машин, а именно совершенствование его номенклатуры и количественного соотношения отдельных групп машин — структуры парка машин.

Формирование парков машин строительных организаций заключается в определении их рациональной структуры и состава. Оптимальным на данном этапе технического прогресса в трубопроводном строительстве является такой машинный парк, который обеспечивает комплексно-механизированное производство строительного-монтажных работ в установленные сроки с минимальными затратами при сокращении затрат ручного труда, росте производительности труда и выработки машин, а также внедрении новых и

модернизированных средств механизации. Основой формирования машинного парка строительного-монтажных организаций является соблюдение принципов поточности вне зависимости от планируемых объемов работ и условий их выполнения, применение прогрессивной технологии и гарантирование качества на всех операциях.

Региональные условия существенно влияют на организацию и технологию трубопроводного строительства, использование машин в течение смены, суток и года, конструктивные решения трубопроводов, объемы и структуру строительного-монтажных работ, организацию ремонта и технического обслуживания машин, что, в свою очередь, оказывает решающее влияние на выбор типов и параметров машин.

Состав машинного парка должен постоянно совершенствоваться за счет внедрения новой техники, модернизации устаревших и замены изношенных машин. Этот процесс должен сопровождаться соответствующим развитием средств ремонта и технического обслуживания, а также средств перебазировки строительных машин. При формировании машинного парка необходимо учитывать возможные объемы поставки специальных машин для трубопроводного строительства и общестроительных машин.

Формирование парка машин отрасли — непрерывный процесс, так как величина и отраслевая структура производственной программы непостоянны. Помимо этого изменяются физические объемы работ и территориальное размещение объектов, конструктивные решения трубопровода и технология сооружения объектов нефтяной и газовой промышленности.

По мере развития машиностроения и требований, предъявляемых к нему технологией строительства, состав машин и механизмов постоянно меняется качественно и количественно как по строительству в целом, так и в строительных отраслях и подразделениях.

Развитие парка машин отрасли должно осуществляться на основе перспективных планов создания новой техники, комплексных программ по повышению качества и темпов строительства, долгосрочных прогнозов развития отрасли и смежных отраслей, а также на основе годовых планов комплексной механизации и автоматизации строительного-монтажных работ и нормативов состава и выработки механизированных комплексов по районам строительства. В планах создания новой техники и комплексных программах по повышению качества и темпов строительства определены основные направления развития отрасли в текущей пятилетке, разработаны мероприятия по созданию новых, модернизации и снятию с производства морально устаревших машин и механизмов.

В годовых планах комплексной механизации перечисляются мероприятия по обеспечению выполнения плана и устанавливаются задания по сокращению объемов ручных работ, уровню комплексной механизации и автоматизации, использованию и выработке основных машин, внедрению в строительство прогрессивных способов механизации работ и средств механизации, капитальному ремонту основных строительных машин, а также приводятся расчеты потребности, выбытия и поставки машин с учетом коэффициента равномерности.

Годовые, пятилетние, долгосрочные планы и программы разрабатываются на разных уровнях управления и отличаются друг от друга методами решения задач, степенью детализации показателей, кругом и составом рассматриваемых вопросов. Однако все они направлены на эффективное выполнение заданий по строительству объектов нефтяной и газовой промышленности.

Вопросы формирования парков машин строительных организаций исследованы в различных работах [4, 5, 7]. Решение основных задач при формировании машинных парков строительных организаций связано с определением потребности в машинах. При этом устанавливается способность парка машин выполнить при его рациональном использовании заданные объемы строительно-монтажных работ, а также определяется объем производства и поставки машин строительным организациям.

Используют различные методы расчета потребности в машинах, выбор которых зависит от постановки задачи и наличия исходных данных:

- физических объемов строительно-монтажных работ, способов их механизации, годовой производительности машин;
- сведений о существующем парке машин и показателях его использования;
- программ работ строительной организации, технологии и организации возведения объектов.

Определение потребности в машинах по отдельным типоразмерам или маркам способствует формированию оптимального парка, а также служит материалом для обоснования объемов их производства машиностроительными предприятиями. В связи с этим в заявках на поставку должны быть указаны те типоразмеры и марки машин и то их число, которое необходимо строительной организации. Кроме того, в заявках следует указывать модели машин, которыми можно заменить наиболее эффективные машины, если их производство ограничено.

Парк машин строительной организации должен состоять из минимально возможного, но достаточного числа моделей машин. Это снижает эксплуатационные расходы на ремонт и обслуживание средств механизации. Выбор наиболее эффективных моделей машин осуществляется путем анализа областей технически возможного и экономически целесообразного применения машин. В трубопроводном строительстве вопросу комплектования парка машин строительных организаций из минимально возможного числа моделей уделяется большое внимание. ВНИИСТом был разработан ряд нормативных документов по выбору эффективных машин и оборудования для проведения земляных, подготовительных, монтажных, буровых, свайных, транспортных и других видов работ. Исследования по выбору эффективных машин включают следующие этапы:

- составление перечня ведущих и комплектующих машин и механизмов, техническая область применения которых соответствует данному виду работ;
- сравнение машин по системе технико-экономических показателей;
- анализ опыта эксплуатации машин в отрасли;
- анализ области экономически целесообразного применения;
- окончательный отбор машин с указанием области их применения.

В тех случаях, когда у двух или более взаимозаменяемых машин показатели приблизительно одинаковы, а с целью сокращения типов машин необходимо произвести их отбор, проводят сравнение по минимуму удельных приведенных затрат.

Важнейшее направление совершенствования планирования развития машинных парков и управления ими — комплексное использование экономико-математических моделей, методов и ЭВМ. Наиболее распространенным типом экономико-математических моделей являются балансовые модели, в частности матричные модели, статические и динамические модели межотраслевого баланса строительства. Принципы построения межотраслевого баланса строительства, позволяющего разработать перспективный план развития отраслей материально-технической базы строительства, в том числе развития машинных парков, для выполнения плановых объемов подрядных работ, освещены в работе [3]. В качестве основного балансового метода используют для согласования и увязки плановых показателей и нормативов, применяемых при расчетах потребности в строительных машинах.

В настоящее время проводятся исследования по автоматизации расчетов состава и структуры парков машин строительно-монтажных организаций. Разработан алгоритм расчета и машинная программа для ЭВМ «Минск-22», в основу которых положен принцип определения потребности в строительных машинах методом «прямого счета» с учетом условий полной загрузки наличных средств механизации и выполнения запланированных объемов работ. Алгоритм предусматривает упорядочение и унификацию исходной информации, возможность определения потребности в новых, ранее не использовавшихся машинах.

Расчет включает в себя определение общей и удельной (на 10 мил. руб. строительно-монтажных работ) потребностей в строительных машинах, поставки и капиталовложений на их приобретение. На планируемый период определяются также показатели физических объемов работ, удельного веса объемов работ, выполняемых различными способами, и годовой выработки строительных машин, качественные характеристики плана: коэффициенты изменения показателей удельных физических объемов работ (физический объем на 10 мил. руб. строительно-монтажных работ), которые позволяют судить об относительных изменениях планируемых показателей по сравнению с показателями базового года. Завершающим этапом расчета являются определение экономической эффективности и выбор наилучшего варианта формирования машинного парка по критерию минимума приведенных затрат на выполнение программы механизированных работ ресурсами наличного парка и новыми машинами и на развитие ремонтно-эксплуатационной базы при соответствующем обеспечении выполнения заданий по росту производительности труда и сокращению объемов ручных работ.

## **Формирование и распределение парка машин на основе механизированных трубопроводно-строительных комплексов**

Все шире внедряются поточно-скоростные методы строительства магистральных трубопроводов укрупненными механизированными комплексами. Досрочный ввод в эксплуатацию таких объектов непосредственно связан с применением поточных методов строительства, следовательно, распространение поточно-скоростных методов на все сооружаемые отрасли трубопроводы является одной из важнейших задач. Во всем многообразии сооружаемых объектов и региональных условий необходимо искать рациональные формы машинооснащения строительства и организации проведения работ, учитывая при этом степень концентрации техники. Чем больше на участке трассы сконцентрировано техники и людских ресурсов, тем крупнее ущерб от перерывов по объективным и простоям по организационным и метеорологическим причинам, в том числе из-за отказов машин. Стоимость и затраты времени (в среднегодовом исчислении) на перебазирование машин с объекта на объект по мере укрупнения комплексов возрастают и становятся существенно зависимыми от протяженности участка трассы, на которой работают комплексы. В связи с этим возникает необходимость решения ряда задач по определению рационального машинооснащения механизированных комплексов, к важнейшим из которых относятся:

- разработка составов машинооснащения механизированных комплексов различной производственной мощности в зависимости от объемов, условий работ и альтернатив схем комплексной механизации процессов;
- определение величины нагруженного технологического резерва машин, позволяющего путем маневрирования ресурсами обеспечить ритмичность потока в постоянно изменяющихся условиях производства работ;
- определение ненагруженного резерва машин, узлов, агрегатов и деталей, предназначенного для ускорения восстановления работоспособности комплексов машин при отказах и замены машин в периоды ППР.

Современные методы организации поточно-скоростного строительства предусматривают возможность комплектации состава специализированного потока несколькими сварочно-монтажными, изоляционно-укладочными и другими бригадами. Это связано с необходимостью максимальной синхронизации выполнения отдельных видов работ в постоянно изменяющихся условиях. Дополнительные машины и комплекты машин, вводимые в комплексы, позволяют приблизить процесс сооружения трубопровода к конвейерной схеме и выполняют при этом роль «магазинов», поддерживающих равномерность движения конвейера при помехах. Таким образом, дополнительные машины играют роль нагруженного технологического (эксплуатационного) резерва [10].

Определение рационального машинооснащения механизированных комплексов с учетом технологического резерва целесообразно проводить в два этапа. Сначала рассчитывают технологически необходимый состав машин, обеспечивающий синхронизацию потока в усредненных условиях, которые условно принимают неизменяемыми по протяженности трассы и во времени, затем, исходя из специфики каждого процесса, — технологический резерв [14]. В

основу расчета технологически необходимого состава машин заложены техническая часовая производительность ведущих машин и циклограммы технологических процессов. При этом главным ограничением является условие качественного выполнения всех операций. Переход от технической часовой производительности к эксплуатационной (сменной и годовой) осуществляют на основе разработки прогрессивных сменных, суточных и годовых режимов работы комплектов машин в частных потоках в соответствии с ВСН 1-56—74. Усложнение трассы учитывается системой поправочных коэффициентов, принятых в соответствии с действующей нормативной документацией.

Величина нагруженного технологического резерва машин зависит от следующих основных факторов:

- среднестатистической эксплуатационной производительности комплектов машин;
- колебаний эксплуатационной производительности комплектов машин;
- допускаемых технологических заделов на смежных производственных процессах.

Организационные формы использования технологического резерва многообразны, но главная цель их одна: путем маневрирования ресурсами обеспечить своевременный ввод пусковых объектов. В резерве руководства министерства могут находиться механизированные комплексы различной производственной мощности, которые периодически перебрасывают на важнейшие пусковые объекты, а в остальное время используют на непусковых объектах для создания задела производственной программы отрасли.

Для обеспечения синхронизации специализированного потока необходимо опережающее выполнение работ на сложных участках трассы. Для этого в укрупненных механизированных комплексах необходимо предусматривать комплекты машин бригад монтажа, сварки, изоляции и укладки переходов через овраги и малые водотоки. Некоторые машины технологического резерва могут быть включены в основные комплекты, например экскаваторы, сварочные агрегаты, очистные машины, компрессоры, наполнительные агрегаты и др. Так, установка в колонне дополнительной очистной машины и одного трубоукладчика для ее поддержки позволяет качественно очистить трубопровод, сооруженный из труб с глубокой коррозией, и повысить при этом темп потока на 60—70 %. Особенно важен технологический резерв для разработки траншей при отрицательных температурах, когда условия разработки грунта существенно меняются по длине трассы, а требования к качеству укладки не позволяют создать технологические заделы в последовательности процессов разработка траншеи — укладка трубопровода — засыпка. При выборе резерва землеройной техники в этом случае исходят из расчета превышения производительности комплекта землеройных машин на 25—30 % по сравнению с комплектом машин изоляционно-укладочных колонн.

Рассчитанные с учетом нагруженного технологического резерва механизированные комплексы для каждого диаметра трубопровода и региона целесообразно подразделять на три типа: крупные, средние и малые. Крупные механизированные комплексы (КМК) оснащены машинами и оборудованием, обеспечивающими поточно-расчлененный метод неповоротной сварки, базами

поворотной сварки типа БТС-142 и БТС-143, автоматизированными комплексами контроля типа АКП. Комплекты машин изоляционно-укладочных колонн включают дополнительные очистную машину и трубоукладчик. Входящая в КМК бригада по преодолению оврагов и малых водотоков имеет комплекты землеройных машин, сварочных агрегатов, трубоукладчиков, а также очистную и изоляционную машины. Комплекты машин бригад по инженерной подготовке трассы включают валочно-трелевочные машины типа ЛП-17 и ЛП-19, бесчокерные трелевочные трактора типа ТБ-1 и ЛП18, фронтальные погрузчики и другие машины. КМК для сооружения трубопроводов диаметром 1220—1420 мм имеют в своем составе 280—320 машин и транспортных средств.

Малые механизированные комплексы (ММК) предназначены для поточных методов строительства рассредоточенных объектов (отводов, лупингов), а также участков трасс с большим числом препятствий (например, пересечение коммуникаций и дорог в густонаселенных районах). В состав ММК входят 140—170 машин и транспортных средств. В комплекс не включена бригада по преодолению оврагов и мелких водотоков. Технологический резерв машин ММК сведен к минимуму (экскаваторы, транспортные средства). Машинооснащение комплексов дифференцировано также в зависимости от региональных природно-климатических условий. Годовой режим работы ММК рассчитан из условия трех—пяти перебазировок в год. Таким образом, каждая трасса магистрального трубопровода со всеми отводами, ответвлениями и лупингами может быть разбита на участки различной протяженности, а на каждом участке использован механизированный комплекс целесообразной производственной мощности [9].

Наибольшего эффекта от использования КМК и СМК можно достичь только путем их объектной специализации под единым руководством. Этот тезис подтверждается практикой строительства трубопроводов механизированными комплексами и теорией внутри- и межкомплексных взаимосвязей в работе машин. В результате тесной взаимосвязи в работе комплектов машин при поточных методах строительства остановка или снижение темпов на одном из видов работ приводит к простоям всего комплекта. Между тем цели и задачи специализированных организаций, представленных в КМК своими подразделениями, не всегда совпадают с нуждами данного КМК или данного объекта. Возникает множество конфликтных ситуаций, отражающихся на комплектации КМК и использовании машин. Во избежание простоев техники механизированные колонны и бригады приходится рассредоточивать вдоль фронта работ на 10 км и более и создавать тем самым заделы, компенсирующие несогласованность в производительности комплектов машин, их простои во время отказов и по другим организационным причинам. Тем самым нарушаются принципы поточности, снижается темп и качество строительства.

Области экономически эффективного применения комплексов определяют расчетом, который должен учитывать влияние следующих основных факторов:

- конструкции трубопровода (материал, диаметр, толщина стенки труб, тип изоляционного покрытия, схема укладки);
- объема работ (протяженность участка непрерывной нитки трубопровода, на котором будет работать комплекс).

Потребность в машинах на уровне министерства и главного управления определяют по разработанным ВНИИСТом нормативам потребности на 1 км трубопровода, а на уровне треста и управления — на основе нормативного состава машин, входящих в механизированный комплекс. Нормативы потребности отражают потребность в машинах конкретных типоразмеров и марок с определенными параметрическими характеристиками, которые соответствуют конструктивным решениям трубопроводов, условиям проведения работ и обеспечивают выполнение всех видов работ в ритме, соответствующем заданному темпу специализированного потока. Нормативы разработаны для расчетов машинооснащения трех типов механизированных комплексов, осуществляющих строительство трубопроводов диаметром 1020, 1220 и 1420 мм в трех укрупненных регионах (Центральном, Среднеазиатском и Северном).

При расчете нормативов потребности в машинах принимаются следующие исходные данные:

- диаметр и конструктивное исполнение трубопровода;
- региональные условия строительства и структура объемов работ по регионам;
- технологическая структура строительно-монтажных работ;
- техническая возможность применения машин;
- номенклатура машин и оборудования по видам работ;
- годовые режимы работы машин по районам строительства;
- сменная и годовая выработка основных комплектов машин;
- нормативная выработка основных машин;
- среднестатистические объемы строительно-монтажных работ, приходящиеся на 1 км трубопровода.

Технологическая структура строительно-монтажных работ, выполняемых механизированным комплексом, принимается по соотношению объемов работ на отдельных технологических процессах, а также по совокупности признаков, характеризующих отдельные конструктивные элементы трубопровода (например переходы под дорогами, запорная арматура и т. д.) с учетом условий проведения работ, определяющих выбор типов машин, с помощью которых эти работы могут быть выполнены на рассматриваемом этапе развития техники для строительства трубопроводов [2,4,5].

Техническая возможность применения машин обусловлена соответствием их рабочих параметров проектным решениям строительства трубопроводов, принятой технологией строительно-монтажных работ и особенностями их проведения в различных условиях. В результате анализа технической возможности применения машин определяют номенклатуру машин и оборудования по всем технологическим процессам. Число машин и их тип окончательно выбирают по физическим объемам строительно-монтажных работ при согласовании производительности машин, входящих в каждый комплект, с производительностью всех комплектов в технологическом потоке. Синхронизация работы бригад в механизированном комплексе осуществляется путем введения нагруженного технологического (эксплуатационного) резерва машин.

Физические объемы строительно-монтажных работ определяют на основе анализа объемов работ по уже построенным трубопроводам и проектам

организации строительства трубопроводов. В расчет вводятся удельные объемы работ, приходящиеся на 1 км протяженности трассы. Производительность машин и оборудования устанавливается по ВНиР и ЕНиР с учетом коэффициента перевыполнения норм выработки по данным анализа внутрисменного использования машин в передовых колоннах и бригадах, а также коэффициентов усложнения условий проведения работ. Сменную эксплуатационную производительность комплекта машин изоляционно-укладочной бригады выявляют исходя из сменного режима работы комплектов машин.

При распределении машинного парка по специализированным строительным организациям, осуществляющим строительство линейной части трубопровода, стоит задача определения производственной мощности и числа механизированных комплексов для выполнения годовой программы строительномонтажных работ.

Задача распределения объема работ между видами механизированных комплексов должна решаться на основе реализации экономико-математической модели. В результате решения должно быть получено такое распределение объемов, при котором критерий оптимальности в условиях заданных организационно-технических и ресурсных организаций достигал бы экстремального значения. Организационно-технологические ограничения определяются, исходя из технически возможной области применения механизированных комплексов различной производственной мощности и их постоянной структуры, номенклатуры и количественного состава. Ресурсные ограничения должны предусматривать полную загрузку механизированного комплекса [6].

Формирование рационального парка строительных машин упрощается, если в основу положены схемы комплексной механизации работ. При этом необходимо учитывать, что структура работ и условия строительства должны быть достаточно стабильными, поскольку схемы комплексной механизации разрабатывают только для типовых процессов. Схемы комплексной механизации — это рациональные варианты машинооснащения объектов - представителей, разработанные на основе прогрессивной технологии и организации строительства в различных природно-климатических условиях. Они служат для разработки ПОС и ППР, формирования и распределения парков машин строительных организаций и содержат данные о составах комплектов машин и их параметрах, расстановке машин на объекте, технико-экономические показатели (производительность в единицах конечной продукции, механо- и энерговооруженность труда и строительства, себестоимость и трудоемкость выполнения работ). Исходными данными для составления схем являются литературные и проектные источники, касающиеся технологии производства работ, накопленный опыт производственных и научных организаций по строительству линейной части магистральных трубопроводов, состав машинных парков строительных организаций, анализ наблюдений непосредственно на строящихся объектах.

## Страховое резервирование машин, узлов и агрегатов

Объединение техники в укрупненные механизированные комплексы выдвигает задачу повышения надежности их работы, на которую влияет специфика работы в трубопроводном строительстве:

- постоянное изменение условий работы машин в связи с линейно-протяженным характером строительных объектов;
- сложность гидрогеологических и топографических условий работы машин (болота, пески, продольные и поперечные уклоны);
- тесная взаимосвязь в работе машин и их комплектов;
- непосредственная связь машин с сооружаемым трубопроводом;
- фактический технический уровень машин и их климатическое исполнение, не полностью соответствующие условиям проведения работ;
- удаленность объектов строительства от производственных и ремонтных баз.

Под надежностью работы комплекта машин понимают вероятность того, что этот комплект машин выполнит необходимый комплекс работ при соблюдении определенных условий на заданном интервале времени. Отказы комплектов машин дифференцируют следующим образом: отклонение результата работы комплекта машин от заданных значений (снижение производительности, ухудшение качества выполнения работ) и полная остановка комплекта машин [12].

Функционирование комплектов машин представляет собой сложную вероятностную систему, на которую воздействуют случайные отказы машин, случайное изменение условий и объемов работы, технологические разрывы, планово-предупредительные ремонты. Результатом этого являются простои или снижение производительности комплекта машин. Устанавливая связь между выходами и входами, можно осуществить саморегулирование системы, направленное на сокращение простоев и стабилизацию производительности комплекта машин.

Под организационно-технологической надежностью понимают способность организационных, технологических и экономических решений с заданной вероятностью обеспечить достижение заданного результата функционирования системы строительного производства в условиях случайных возмущений, присущих строительству. Основными методами повышения организационно-технологической надежности строительного производства с точки зрения надежности работы машин являются следующие методы:

- применение высоконадежных машин;
- применение специальных и общестроительных машин в соответствии с их функциональным назначением;
- подбор машин в исполнении, соответствующем природно-климатическим условиям строительства;
- рациональная организация технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов и технической диагностики состояния машин;
- поддержание необходимой квалификации обслуживающего персонала;
- структурное резервирование машин, агрегатов, узлов и деталей;

- создание оптимальных технологических заделов между комплектами машин (временное резервирование);
- функциональное резервирование машин.

Временное резервирование технологических заделов приводит к увеличению продолжительности строительства. В ряде случаев величина технологического задела ограничена СНиП III. 42—77 и инструкциями ВНИИСТ по проведению отдельных видов работ при сооружении магистральных трубопроводов, поэтому в практике отечественного и зарубежного строительства получило распространение резервирование машин. Согласно ГОСТ 13377—75 резервирование определяется как метод повышения надежности объекта путем введения избыточности, т. е. дополнительных средств и возможностей сверх минимально необходимых для выполнения объектом заданных функций.

Структурное резервирование предусматривает использование избыточных элементов структуры объекта, т. е. использование в комплекте дополнительных машин и механизмов, компенсирующих простои из-за отказов, снижение производительности, а также выходы машин для проведения ППР [6].

В теории резервирования различают две большие группы резервированных систем: с пассивным и активным резервированием. Применительно к резервированию машин и механизмов в трубопроводном строительстве целесообразно использовать активное резервирование, при котором система работает таким образом, что при появлении отказа машины резервной группы она перестраивается и восстанавливает заданную производительность, т. е. система активно реагирует на появление отказа. При активном резервировании машины и оборудование в зависимости от условий работы образуют следующие типы резервов: нагруженный (рабочие и резервные машины находятся в одинаковых условиях), облегченный (резервные машины находятся в облегченных условиях), ненагруженный (резервные машины приступают к работе после отказа рабочей машины или при выводе ее в плановый ремонт).

Для выбора способов проведения работ необходимо определить их объем и продолжительность, трудовые затраты и число рабочих. На основании этих данных разрабатывают технологические схемы, где должны быть показаны расположение сооружений, пути перемещения машин, а также объемы, трудоемкость, состав и число машин. При выборе состава комплектов машин учитывают следующее: производительность выбираемых машин должна быть наибольшей в пределах допустимых объемов загрузки и технологий производства работ; число и тип машин в комплекте должно быть по возможности минимальными; на некоторых работах целесообразно применение универсальных машин, осуществляющих ряд процессов [3,4].

Технологические схемы являются основанием для выбора вариантов технологии производства по каждому виду работ. При их составлении определяют необходимые параметры, число и типы строительных машин для каждого варианта технологии производства работ. Выбором комплектов машин для каждой технологической схемы завершается установление вариантов схем комплексной механизации.

Для оценки вариантов рассчитывают их эффективность. При выборе оптимальных вариантов проводят сравнение показателей разрабатываемых

вариантов схем комплексной механизации с показателями существующих или эталонных вариантов. За последние принимают схемы, наиболее часто используемые при строительстве данных объектов и отвечающие достигнутому на данном этапе техническому уровню. Формирование и распределение парка машин на основе схем комплексной механизации осуществляют путем определения числа комплектов машин на планируемый объем работ. В зависимости от наличия машин и объемов списания определяют объем поставок.

Резервирование осуществляют с помощью разнообразных схем: общих, отдельных, с целой или дробной кратностью и др. Величина страхового резерва для каждого типа машин зависит от степени влияния отказа машины на темп потока и размеров ущерба от простоев при отказах. Исходя из специфики технологических процессов, все машины могут быть распределены на три группы.

Группа А. Взаимосвязанные комплекты машин с последовательной структурой, а также ведущие машины, работающие в специфических условиях, при которых экономически нецелесообразно или невозможно применить нагруженный резерв. К этой группе относятся изоляционные и очистные машины, изоляционно-очистные комбайны, и сварочно-монтажных работах, установки горизонтального бурения, трубогибочные установки при гнутье труб на трассе непосредственно «по месту», наполнительные и опрессовочные агрегаты, компрессорные станции большой мощности.

Группа Б. Ведущие машины и оборудование, отказ которых приводит к снижению производительности комплекта. Компенсацию простоя осуществляют путем включения в комплект нагруженного резерва. В эту группу входят экскаваторы одноковшовые, рыхлители, бульдозеры, траншеезасыпатели, многопостовые сварочные установки, плетевозы и автосамосвалы, автокраны и трубоукладчики на погрузочно-разгрузочных работах, компрессорные станции, наполнительные и опрессовочные агрегаты (при работе группами).

Группа В. Машины и оборудование, отказ которых приводит к остановке комплекта, но возможна частичная компенсация простоя за счет технологического задела, а также вспомогательные машины.

На основе единичных показателей надежности рассчитывают комплексные показатели — коэффициенты готовности машин и комплектов машин, представляющие собой вероятность того, что машины (комплекты) окажутся работоспособными в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых их использование по назначению не предусматривается.

Основой для расчета надежности работы комплекта машин являются структура системы (в данном случае комплекта машин), данные по надежности входящих в комплект машин, формулировка критерия отказа комплекта в целом, принятая стратегия восстановления (устранение последствий отказов). Комплект машин, как система, состоит из совокупности машин взаимосвязанных по определенной схеме, зависящей от технологии и организации строительства [13].

## **ГЛАВА 6. ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

### **Особенности методологии планирования развития механизации трубопроводного строительства**

Методологической основой прогнозирования является теория воспроизводства, в которой раскрыты механизмы совершенствования предметов и средств труда и разрешения противоречий между развитием потребностей общества и возможностями их удовлетворения. Научно-технический прогресс в отдельных отраслях как элемент развития народного хозяйства в целом базируется на развитии фундаментальной науки и во многом зависит от темпов научно-технического прогресса в смежных отраслях. По мере роста хозяйственных связей на базе разделения общественного труда и дифференциации науки возрастает массив информации, который необходимо переработать для составления обоснованного прогноза по локальному вопросу. Результаты прогнозирования научно-технического прогресса в конечном итоге определяют направления капиталовложений, поэтому повышению научной обоснованности прогнозов и совершенствованию их методологии придается исключительно большое значение.

В предисловии к работе акад. Т. С. Хачатуров отмечает, что задачей планирования является выбор путей развития технического прогресса, а методы такого выбора идентичны методам выбора вариантов капиталовложений и основываются на сопоставлении получаемого эффекта с затратами. Технический прогресс в области механизации и автоматизации — решающий фактор развития трубопроводного строительства, поэтому именно ему уделяется первостепенное внимание в народнохозяйственном планировании [2].

Решаются вопросы об обновлении парка машин отрасли путем замены морально и физически устаревшей техники мощными, высокопроизводительными машинами, освоении выпуска систем машин, оборудования, приборов и средств малой механизации с целью обеспечения комплексной механизации и автоматизации всех процессов и особенно принципиально новых технологических процессов.

Реализация долгосрочной программы научно-технического прогресса в области комплексной механизации и автоматизации трубопроводного строительства находит свое отражение в перспективном и текущем планировании.

Программно-целевые методы — качественно новый этап в развитии методологии планирования. Они охватывают важнейшие вопросы развития отрасли, увязывая их в единую систему, направленную на повышение эффективности и качества строительства. Комплексные целевые программы являются перспективными плановыми, а следовательно, директивными документами, вытекающими из научно обоснованных прогнозов развития отрасли. В то же время это документы сквозного планирования, где на каждое мероприятие имеется программа его разработки и освоения на всех этапах: исследовательском, проектно-конструкторском, опытно-промышленном. По срокам планирования

программно-целевые методы относятся к перспективному планированию. В комплексные программы могут входить мероприятия, сроки реализации которых не обязательно должны укладываться в пятилетний или другой заданный период. Главным является полнота, достаточность этих мероприятий для решения поставленной цели, их организационно-техническая направленность и экономическая эффективность результатов.

Практически все комплексно-целевые программы включают вопросы механизации и автоматизации строительства, а в программах по повышению темпов и качества строительства, сокращению затрат ручного труда, повышению производительности труда, строительству на болотах, вопросы механизации строительства являются основными. В связи с этим при планировании создания новой техники целесообразно построить «дерево целей». Принцип его построения может быть представлен в следующем виде [4,6].

Межкомплектные взаимосвязи определяются технологической последовательностью выполнения комплектами машин производственных процессов. Тесная межкомплектная взаимосвязь свойственна работе комплектов машин на смежных процессах с ограниченными технологическими заделами. К таким процессам относятся разработка траншеи, очистка, изоляция, укладка трубопровода, засыпка и др. Тесная взаимосвязь характерна не для всей цепи технологических процессов, а для отдельных звеньев ее. Весь цикл строительномонтажных работ на линейном участке можно выполнить силами одной комплексной колонны или узкоспециализированными подразделениями, принадлежащими разным строительным организациям. Анализ отечественной и зарубежной практики организации строительства и теоретические исследования функционирования систем показали, что при наличии тесных межкомплектных взаимосвязей наилучшего использования машин можно достичь при комплексной организации управления работой комплектов машин в потоке.

Межкомплектные взаимосвязи оказывают значительное влияние на эксплуатационную производительность комплектов машин, продолжительность и себестоимость строительства, поэтому вопросы выбора оптимальной организационной структуры, форм специализации строительных организаций, а также методов управления строительством отдельных объектов являются первостепенными при решении задач повышения производительности путем улучшения использования взаимосвязанных комплектов машин.

Каждая комплексная целевая программа представляется в виде ствола, ветви которого—мероприятия, относящиеся к комплексной механизации и автоматизации строительства. По вертикали «дерева целей» откладываются сроки этапов проведения мероприятий. Анализ совокупности программ, представленных в виде «дерева целей», позволяет исключить дублирование разработок, скорректировать сроки и состав исполнителей, а при необходимости уточнить номенклатуру и исходные требования по созданию новой техники.

Если все комплексно-целевые программы имеют один и тот же критерий эффективности, например удельные приведенные затраты, анализ совокупности программ затруднений не вызывает. При различных критериях эффективности необходимо произвести их свертку методами теории исследования операций [12].

Комплексные целевые программы могут не в полной мере отражать необходимость в техническом перевооружении отрасли, поэтому при составлении планов создания новой техники необходим анализ технического уровня парка машин. Можно выделить три формы обновления парка машин:

- замена изношенных машин новыми с теми же техническими параметрами и той же стоимости;
- замена изношенных машин новыми с теми же техническими параметрами, но меньшей стоимости;
- замена изношенных машин новой, технически более совершенной техникой.

Наиболее эффективным является третий путь обновления парка машин, поэтому технический прогресс необходимо связывать с сокращением перехода от одной модели машины к другой, более производительной и эффективной. Одновременно должны уменьшаться и сроки службы машин. В воспроизводстве парка машин, осуществляемом путем капитального ремонта, модернизации и оснащения новыми машинами последняя форма по мере развития технического прогресса должна стать преобладающей. Тем самым достигается качественное изменение парка машин, которое может быть охарактеризовано увеличением числа машин большой единичной мощности, повышением мобильности и созданием комплектов машин, обеспечивающих комплексную механизацию строительно-монтажных работ [11,12].

Моральное старение парка машин также является причиной его обновления. Различают следующие формы морального старения:

- машины более позднего выпуска в связи с совершенствованием технологии их изготовления и снижением трудоемкости становятся дешевле, сохраняя при этом свои качества;
- новая техника более производительна и требует меньших затрат на техническое обслуживание и ремонт, что повышает эффективность ее применения;
- существующий парк машин не обеспечивает диверсификации производства.

Решение вопросов обновления парка машин должно учитывать производственные мощности машиностроения, целесообразность модернизации, возможность использования машин на других объектах отрасли или в иных отраслях. Все это диктуется закономерностью постоянного превышения спроса над возможностью его удовлетворения. В связи с этим вопросы морального старения техники являются важной экономической проблемой, во многом определяющей направления технического прогресса.

Обычно критерием выбора наиболее эффективного планового решения является минимум приведенных затрат. В расчетах эффективности вариантов комплексной механизации на отдаленную перспективу обычно известны главные параметры машин, а цены на них устанавливаются сугубо ориентировочно. Кроме того, трудно учесть изменения масштабов цен и факторов ценообразования на машиностроительную продукцию, поэтому сравнение по энергоемкости, как по более объективному показателю, является наиболее приемлемым для перспективной техники.

## **Прогнозирование развития комплексной механизации и автоматизации строительства на базе системы машин**

Общесоюзная система машин в целом по строительству включает десять подсистем по отдельным видам строительно-монтажных работ, в том числе и строительство магистральных трубопроводов. Все подсистемы по видам работ имеют единый состав и включают собственно подсистему машин, технологические комплексы машин и оборудования, номенклатуру технологических процессов. В подсистемах машин по каждому виду работ применительно к рассматриваемым подклассам работ и технологическим процессам приведены средства механизации. Под системой машин для строительства понимают изменяющуюся во времени совокупность строительных машин, транспортных средств, ручных машин (механизированного инструмента) и вспомогательного оборудования, которая сформулирована на основе технологических требований строительства с учетом перспектив его развития и обеспечивает комплексно-механизированное выполнение строительных процессов [6,7]. Учитывая перспективные тенденции развития строительства, в основу разработки системы машин были положены следующие общие направления совершенствования и развития технологии, механизации и механовооружения строительства:

- развитие технологических процессов, построенных на индустриальной основе и отвечающих принципам комплексно-механизированного производства работ;
  - применение технологических процессов, ускоряющих производственный цикл;
  - создание технологических процессов и средств механизации, необходимых для возведения зданий и сооружений перспективных, в том числе нетрадиционных, типов;
  - завершение комплексной механизации отдельных видов строительных работ, переход к комплексной механизации возведения объектов в целом, использование наиболее эффективных способов механизации;
- совершенствование структуры парка машин в строительстве на основе применения наиболее прогрессивных типов машин.

В области механовооружения строительства общими направлениями технического развития, обеспечивающими совершенствование технологии строительных процессов и структуры парка машин в строительстве являются:

- применение машин большой единичной мощности; применение машин специального исполнения для работы в районах севера и юга, а также в условиях болот;
- применение высокопроизводительных машин непрерывного действия; использование универсальных машин многоцелевого назначения для мелких рассредоточенных объемов работ;
- увеличение доли мобильных машин на пневмоходу и машин с гидравлическим приводом;
- создание и широкое внедрение машин, предназначенных для технологических процессов, выполняемых в настоящее время вручную;
- значительное увеличение насыщенности строительства средствами малой механизации.

Система машин направлена на решение в перспективе следующих основных задач:

- завершение комплексной механизации всех основных строительных работ, широкое внедрение механизации на вспомогательных работах, обеспечение перехода от комплексной механизации отдельных видов работ к комплексной механизации возведения объектов в целом;
- внедрение в практику строительства прогрессивных технологических процессов, базирующихся на использовании высокопроизводительных машин;
- совершенствование структуры парка машин в строительстве с целью максимального приближения ее к требованиям строительного производства;
- определение направлений и необходимых пропорций развития механовооружения строительства;
- определение общих технических требований к строительным машинам и вытекающих из них требований к смежным отраслям промышленности (механизация процессов, выполняемых вручную, повышение производительности труда на механизированных процессах и, в конечном счете, выполнение растущих объемов строительного-монтажных работ без существенного увеличения численности рабочих).

Разработку системы машин начинают с прогноза развития конструктивных и объемно-планировочных решений, включая применение новых строительных материалов. Естественно, что на отдаленную перспективу необходимо проанализировать возможность появления принципиально новых объектов. На основе анализа конструктивных решений выбирают объекты-представители, по которым впоследствии проводят основные расчеты. В качестве объектов-представителей для отраслевой системы машин выбраны магистральные трубопроводы диаметром 720—1420 мм. Физические объемы работ определяют по всей основной номенклатуре объектов отрасли, а не только по объектам-представителям. Это необходимо для определения сводной номенклатуры и потребности в машинах (как правило, общестроительных) в масштабах всей строительной индустрии с учетом перспектив развития подотраслей строительства.

Важный этап прогнозирования — определение тенденций развития по тем факторам, которые непосредственно влияют на конечные результаты прогноза, но не могут быть количественно оценены аналитическими методами. В этом случае применяют методы экспертных оценок. Один из методов групповой экспертной оценки был применен при разработке системы машин для выявления тенденций развития конструктивных решений, технологии и организации сооружения трубопроводов, перспективных средств механизации и автоматизации по основным процессам и операциям с учетом влияния внедрения в практику строительства достижений фундаментальных наук, развития смежных отраслей промышленности, тенденций международного разделения труда [8,9].

Исследования при проведении групповой экспертной оценки включают следующие основные этапы:

- определение факторов, подлежащих экспертной оценке, состава количественных показателей по каждому фактору с учетом их влияния на конечные результаты системы машин;

- разработка вопросника и таблиц экспертной оценки, включающих аргументированную количественную оценку исследуемого фактора и оценку степени знакомства эксперта с вопросом;
- обработка экспертных оценок и определение средневзвешенных показателей, где в качестве количественной оценки значимости (веса) используется ранг эксперта, определенный самим экспертом по десятибалльной шкале.

При получении разноречивых суждений с большой дисперсией количественных оценок иногда проводится повторный опрос экспертов.

Технологическая часть системы машин включает исходную номенклатуру технологических процессов и перспективные решения, которые вытекают из прогнозов развития технологии производства работ по традиционным и перспективным объектам, а также в связи с появлением принципиально новых средств механизации. Важную роль в повышении технической готовности парка машин играют прогрессивные методы ремонта. Техническое перевооружение отрасли сопровождается внедрением машин высокой ремонтпригодности, что позволяет применять агрегатно-узловые методы ремонта, которые при наличии обменного фонда в два-три раза сокращают продолжительность пребывания техники в ремонте [6].

Развитие технической диагностики состояния машин позволит предотвратить случайные отказы машин, что важно не только для сокращения простоев при отказах, но и для совершенствования планирования технического обслуживания и ремонта машин. На основе анализа номенклатуры технологических процессов и структуры способов комплексной механизации на следующем этапе разработки системы машин проводят технико-экономические расчеты по выбору оптимальных вариантов комплексной механизации работ и объектов-представителей в целом. В результате технико-экономических расчетов определяют итоговые результаты, которые подлежат реализации в сфере строительства. К ним относятся технологические комплексы машин для строительства объектов-представителей, номенклатура и структура парка машин и транспортных средств, потребность в машинах и транспортных средствах по горизонтам прогнозируемого периода. Эти данные одновременно являются исходным материалом для развития общестроительного и специального машиностроения. На заключительном этапе уточняют перспективные ряды машин и технические требования к их проектированию и изготовлению и разрабатывают итоговые результаты системы машин, подлежащие реализации в сфере машиностроения (номенклатура машин, включающая наряду с имеющимися недостающие машины, а также машины, подлежащие модернизации).

## **Планирование комплексной механизации и автоматизации трубопроводного строительства**

Основные показатели комплексной механизации строительства ежегодно планируются для всех отраслей строительства. К ним относятся директивная выработка основных строительных машин, задания по сокращению затрат ручного труда на трудоемких видах работ, уровни частичной и комплексной механизации и автоматизации работ, объемы внедрения прогрессивных способов механизации. Кроме того, ежегодно планируется условное высвобождение рабочих за счет механизации и автоматизации, объемы капитального ремонта и уровень централизованного капитального ремонта машин и оборудования, а в последние годы — развитие участков малой механизации.

Исходными данными для текущего планирования показателей комплексной механизации являются объемы строительно-монтажных работ и парк строительных машин. При текущем планировании обычно используют методику определения плановых показателей, базирующихся на достигнутом уровне, предшествующем планируемому году.

Прогресс в планировании показателей механизации должен быть подтвержден совокупностью организационно-технических мероприятий, к важнейшим из которых относятся:

- совершенствование номенклатуры и структуры парка машин;
- применение прогрессивной технологии строительства, использующей эффективные способы механизации;
- использование конструктивных и объемно-планировочных решений, а также строительных материалов и полуфабрикатов, позволяющих исключить или сократить ручной труд и снизить трудоемкость строительно-монтажных работ;
- применение прогрессивной организации строительства, позволяющей улучшить использование машин;
- совершенствование технического обслуживания и ремонта машин;
- совершенствование организации эксплуатации парка машин.

При укрупненном планировании прежде всего определяют физические объемы строительно-монтажных работ, приходящиеся на 1 млн. руб. в планируемом году, а также объемы работ, подлежащие выполнению вручную, механизированным, комплексно-механизированным и автоматизированным способами. Отдельно выявляют объемы работ, которые намечено выполнить прогрессивными методами механизации.

Годовыми планами комплексной механизации строительства предусматривается концентрация техники в специализированных организациях, в том числе создание и расширение управлений и участков малой механизации в районах сосредоточенного строительства объектов нефтяной и газовой промышленности. Производственно-хозяйственная деятельность управлений механизации регламентируется годовыми, квартальными и месячными планами, декадно-суточными и сменными заданиями. Развитие их технико-экономической базы строится на основе перспективных планов развития. Годовое планирование производственно-экономической деятельности в области механизации строительства предусматривает следующие разделы:

- план механизированных строительно-монтажных работ и программа вспомогательного производства; план материально-технического снабжения;
- план по труду и заработной плате;
- сметы затрат на производство и плановая калькуляция работ и услуг;
- финансовый план;
- план повышения эффективности производства.

Годовые планы должны предусматривать:

- непрерывность квартального и месячного планирования и увязку их с другими планами (стройфинплан, директивные задания по комплексной механизации и использованию материальных машин и др.);
- равномерность использования трудовых и денежных ресурсов и их расчет на базе прогрессивных нормативов расхода;
- снижение издержек производства и непроизводительных затрат времени.

Квартальные и месячные планы строятся на основе и по принципу годовых планов с учетом конкретной программы и условий проведения работ на данный период. По важнейшим позициям планов составляют графики, например, графики выполнения программы строительно-монтажных работ, перебазировки на новый объект, технического обслуживания и ремонта, расхода ресурсов. Они являются наиболее удобной формой планирования декадно-суточных и сменных заданий, а благодаря своей наглядности упрощают учет и контроль выполнения планов. Первичными документами учета являются сменные рапорты о работе строительных машин, акты о выполнении работ (в натуральном выражении), калькуляции затрат материальных ресурсов и заработной платы, журналы учета технических обслуживания и ремонтов.

Результаты долгосрочных прогнозов развития механизации строительства конкретизируются и приобретают директивное звучание в пятилетних и годовых планах, в частности в планах создания новой техники. Основной методологический принцип, заложенный в основу составления пятилетнего плана создания новой техники,— это комплексный системный подход. Методология комплексного подхода при составлении плана определяется следующими этапами исследования:

- изучение состояния и технического уровня парка машин;
- анализ комплексно-целевых программ;
- изучение потребности строительных организаций в новой технике при выполнении текущих работ;
- составление прогноза развития технического прогресса в области конструктивных решений объектов нефтяной и газовой промышленности, технологии и организации их сооружения;
- анализ тенденций развития отечественного и зарубежного машиностроения и других смежных областей народного хозяйства;
- составление прогноза потребности в новой технике с учетом объемов и структуры работ и сопоставление потребности с имеющимися ресурсами и техническими возможностями;
- технико-экономическое обоснование перспективных машин и оборудования;

- выбор наиболее эффективных решений, отвечающих развитию технического прогресса в области технологии и механизации строительства с учетом ограничений.

Комплексный подход к решению проблемы нашел отражение в структуре плана, где показаны этапы получения исходных данных для планирования, составления плана и обеспечения его внедрения.

Для определения основных направлений в области изменения конструктивных решений магистральных трубопроводов, технологии и организации их сооружения и других исходных данных для планирования используют методы экспертных оценок. При разработке планов создания новой техники широко использовался метод «Делфи» с включением элементов метода «Комиссий». Процедура получения устойчивого характера экспертных оценок включала повторение вопросов по особым мнениям экспертов, а также обсуждение на координационных совещаниях результатов обработки экспертных оценок.

Цикл создания машин (от начала теоретических исследований до внедрения в строительство) вызывает необходимость проведения планирования по двум этапам: планирование экспериментальных работ по созданию новой техники и планирование разработки и изготовления опытных образцов (партий машин). В план экспериментальных работ по созданию новой техники включены принципиально новые вопросы, требующие проведения научно-исследовательских работ, а в план создания опытных образцов — машины и оборудование, по которым исследовательские работы завершены и имеется решение о целесообразности разработки технической документации на опытные образцы и в дальнейшем на серийное производство машин. При положительных результатах исследований должно приниматься решение о целесообразности изготовления опытных образцов. Эти работы включают в план разработки и изготовления опытных образцов машин.

Задачи в области технического перевооружения отрасли на перспективу меняются. Если в 80-х и начале 90-х годов главным направлением было создание комплексов машин для сооружения трубопроводов с постоянно возрастающими диаметрами, то в перспективе главной задачей становится оснащение отрасли технически более совершенными машинами практически для всего диапазона диаметров трубопроводов. Техническое перевооружение отрасли осуществляется в соответствии с развитием технического прогресса в области технологии и организации строительства, а именно в соответствии с дальнейшим оснащением строительства крупными комплексами машин с достижением в перспективе стабильных темпов строительства, равных 3—4 км/сут.

Для всех средств механизации можно выделить ряд общих требований, которые вытекают непосредственно из понятия о поточных методах строительства с высокими стабильными темпами.

## ГЛАВА 7. ОПТИМИЗАЦИЯ МАШИНООСНАЩЕНИЯ

### Системный подход к задачам оптимизации машинооснащения

Задачи комплексной механизации трубопроводного строительства нужно решать взаимосвязанно с общей совокупностью задач строительного производства. С этой целью используется системный подход, который представляет собой совокупность правил, являющихся общими для различных систем и позволяющих изучить протекающие в системах процессы (явления). Применение системного подхода позволяет обосновать и сформулировать проблему и цель, т. е. желаемое состояние выходов системы, определить направления и методы исследования, рационально отобрать средства и способы достижения цели. Постановка и решение конкретных задач повышения эффективности использования парка машин должны учитывать сложный динамический процесс строительного производства [3,4].

Парк машин отрасли как предмет системного исследования представляет собой сложную динамическую условно замкнутую систему, которая является подсистемой по отношению к парку машин строительства в целом. В свою очередь парк машин отрасли с позиций системного подхода состоит из подсистем различного иерархического уровня, зависящего от организационной структуры отрасли, форм специализации строительных подразделений и методов организации строительства объектов. По мере роста объемов строительного производства методы эффективного производства должны охватывать своим разнообразием (т. е. числом различных состояний системы) все больший круг реальных процессов и связей с тем, чтобы с максимальной эффективностью использовать имеющиеся ресурсы. Учет иерархического характера экономической системы означает, что не всегда эффективное решение локального вопроса приводит к положительным результатам в масштабе всей отрасли, поэтому каждая задача должна рассматриваться как момент подоптимизации. Для механизации трубопроводного строительства важно рассмотреть функционирование первичных подсистем — комплектов машин и механизированных комплексов, проанализировать их связи с внешней средой, включая подсистемы более высокого иерархического уровня. Только в этом случае эффективные локальные решения приведут к глобальной эффективности. Первичные подсистемы, как и подсистемы более высокого иерархического уровня, относятся к сложным динамическим системам, с большим разнообразием и неоднородностью элементов и связей.

В системе «Механизация трубопроводного строительства» действуют постоянные потоки информации, осуществляющие прямую и обратную связи между строящимися объектами и руководством строительства. Прямая связь идет в направлении руководство — объект и передается в виде директив (приказы, распоряжения, планы, графики, режимы работы машин и т. д.), обратная — от объекта к руководству и содержит информацию о результатах работы (выработка, использование машин по времени) и изменении условий работы машин (состояние техники и ремонтно-эксплуатационной базы, наличие людских ресурсов). Совокупность информационных потоков образует информационную

сеть, состоящую из функциональных и технических узлов, каналов, промежуточных и конечных пунктов сбора, передачи, обработки, хранения и использования информации, необходимой для оперативного управления механизацией строительства. Важнейшие требования, предъявляемые к информации,— достаточность, достоверность и своевременность. Содержание прямого потока информации должно обеспечивать работу комплексов машин в соответствии с принятыми решениями. Недостаточность или избыточность информации в равной степени могут нарушить условия работы техники [1].

Совершенствование ОАСУС не может быть осуществлено без развития методов оптимизации машиностроения и совершенствования форм управления механизацией строительства. АСУС формируется из взаимосвязанных типовых задач, позволяющих путем ввода исходных данных подготовить варианты управленческих решений. Следовательно, внедрению АСУС предшествует отработка круга типовых задач, методов их логического и математического описания, формализации и решения с привлечением ЭВМ. В связи с этим постановку и решение постоянно встречающихся в практике механизации строительства локальных задач можно в определенной степени рассматривать не только с локальных позиций, но и с позиции разработки и совершенствования АСУС. В то же время решение отдельных задач оптимизации машинооснащения имеет значительное влияние на развитие строительного производства, поэтому ее нужно рассматривать не в противопоставлении АСУМС, которая практически еще не создана, а в связи с проблемой ее создания.

Следует отметить две стороны оптимизации машинооснащения:

- средства механизации технологического процесса известны и задача состоит в выборе оптимального парка или комплекта машин, а ограничением является наличие машин;
- средства механизации создаются вновь и задача состоит в разработке направлений развития механизации, а ограничением служат капитальные вложения, технологические особенности процесса, фонд создания и внедрения машин.

Детерминированные модели оптимизации использования машин учитывают только фиксируемые факторы. При отсутствии взаимосвязей в работе машин детерминированные модели, решаемые методами линейного, выпуклого и динамического программирования, позволяют моделировать строительные процессы с достаточной степенью точности. Стохастические модели дают возможность учесть действие случайных факторов и тем самым приблизить модель к реальным условиям, но отличаются сложностью моделирования и необходимостью определения функций распределения вероятностей перерывов в работе машин и их комплектов. Решение задач с учетом неопределенных факторов в строительном производстве не нашло применения. Неопределенность фактически характеризует степень изученности строительного процесса и условий проведения работ. Исходя из круга задач по оптимизации машинооснащения и методов их решения, можно заключить, что в исследованиях по оптимизации машинооснащения необходим тот же математический аппарат, а именно:

функциональный и корреляционный анализ;

математическое программирование (линейное, выпуклое, целочисленное, динамическое);

- теории множеств, сетей и графиков;

- теория информации;

- теория массового обслуживания, очередей и запасов; теории игр и исследования операций; имитационное моделирование; эвристические методы.

Применение того или иного метода, модели, теории или их совокупностей для решения конкретной задачи определяется спецификой последней. Имеется ряд общих рекомендаций применительно к типовым задачам оптимизации решений в области механизации строительства, однако эти вопросы изучены еще недостаточно [6, 9].

Круг задач, которые могут быть описаны данными моделями, весьма широк: от распределения отдельных машин (трубоукладчиков, установок горизонтального бурения) до перераспределения механизированных комплексов с заканчиваемых строительством объектов на строящиеся. Однако модели, описываемые данными формулами, позволяют найти только оптимальные оперативные решения. Для перспективного планирования распределения средств механизации можно использовать модели динамического программирования.

Оптимальное распределение ресурсов с учетом их расширенного воспроизводства, структуры капитальных вложений и срока ввода в действие строительных объектов дает решение динамической модели межотраслевого баланса. Однако чаще используют более простые модели матричного моделирования, распределения.

Матричное моделирование используют также для математического описания оптимизации ресурсов в строительных потоках в ряде других задач. Описание строительных потоков осуществляют также графо-аналитическими методами: линейными, сетевыми и другими графиками планирования и управления человеко-машинными системами в строительстве.

Сетевое моделирование — логическая модель, используемая как метод планирования и управления в условиях неопределенности. Принцип построения тот же, что и детерминированного сетевого графика. Однако количественные оценки даются в виде законов распределения вероятностей или путем экспертных оценок. Примером сетевого моделирования является метод ПЭРТ, в котором предусматривают наиболее ранние, поздние и средние ожидаемые сроки завершения работ. Детерминированные сетевые графики мало пригодны для трубопроводного строительства с его постоянно меняющимися условиями, тесной взаимосвязью в работе машин и большим влиянием случайных факторов. Недоучет вероятностного характера работы человеко-машинных систем приводит к неверным выводам даже в самых простых ситуациях оперативного планирования, где в основу расчета кладут, как правило, средние значения продолжительности работ.

На завершающей стадии строительства трубопровода сложилась следующая ситуация:

- на нескольких сложных участках трассы требуется завершить разработку траншей, сварочно-монтажные и изоляционно-укладочные работы, которые могут быть закончены имеющимися ресурсами за 2-4 недели, необходимые для

завершения работ по сооружению подводного перехода и испытания трубопровода;

- сооружение подводного перехода может быть завершено через 2—4 недели после прибытия грузов с той же вероятностью, как и в первой ситуации, это обусловлено колебанием уровней воды и других неопределенных факторов;

- подготовка и испытание могут быть завершены через одну неделю после прибытия оборудования;

Таким образом, метод осреднения не всегда применим к решению задач в условиях неопределенности. В приведенном примере ошибка в расчете, вызванная пренебрежением к вероятностным методам, составляет 12 %, что довольно существенно для оперативного планирования.

В трубопроводном строительстве в связи с его подвижным характером и постоянно изменяющимся фронтом работ без применения специальных математических методов невозможно выявить и реализовать имеющиеся резервы повышения темпов, эффективности и качества выполнения работ. Под оптимизацией машинооснащения понимается широкий круг вопросов, заключающихся в нахождении и реализации наилучших из возможных решений в области комплексной механизации и автоматизации строительства. В теории механизации и автоматизации строительства проблема оптимизации машинооснащения является ключевой. Она охватывает круг задач, позволяющих на основе системного подхода при использовании современных математических методов определить оптимальные параметры формирования, развития и использования парков машин строительных организаций, оптимальное оснащение техникой сооружаемых объектов. Решение задач оптимизации машинооснащения заключается в определении экстремального значения исследуемого параметра при заданных изначальных условиях.

Постановка задач оптимизации должна преследовать определенную цель, математическим аналогом которой является критерий эффективности. Обычно это минимизация приведенных затрат, получение максимальной прибыли или сокращение продолжительности строительства. Постановка задачи сокращения продолжительности строительства объекта или участка целесообразна лишь в том случае, когда в результате достигается экономический эффект, превышающий затраты на достижение цели. Предельные затраты в такой постановке задачи предполагаются известными и выступают в виде ограничений. Данное положение должно распространяться и на постановку задач, целевыми функциями которых служат минимизация трудовых затрат или удельного веса ручного труда, максимум объема продукции.

Наряду с критерием эффективности условия задач оптимизации определяются совокупностью ограничений, например выбором варианта механизации для конкретного участка трассы при заданных сроках строительства и имеющейся номенклатуры взаимозаменяемых машин. Если изменить последнее условие задачи, расширив возможности в выборе машин, серийно выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью или намеченных к освоению в ближайшие годы, то получим три различных варианта механизации, технико-экономические параметры которых будут существенно отличаться друг от друга. Разница в постановке перечисленных задач заключается в ограничениях выбора

средств механизации. По мере снижения ограничений поиск оптимального варианта расширяется, но одновременно усложняется решение задачи.

Виды ограничений определяются характером решаемых задач. В задачах по оптимизации машинооснащения ограничениями обычно являются номенклатура и структура парка машин, капитальные вложения на создание и приобретение техники, эксплуатационная производительность ведущих машин и комплектов, людские ресурсы или фонд заработной платы, директивные или нормативные сроки строительства и т. д. Например, решение задачи оптимизации парка машин строительной организации заключается в нахождении таких параметров (номенклатуры и структуры) парка, которые позволяют с наименьшими затратами выполнить план ввода в действие пусковых объектов при выполнении заданий по структуре и объемам строительно-монтажных работ, механизации трудоемких и тяжелых процессов и внедрению новой техники. При этом имеется в виду, что минимизация затрат по выполнению в срок заданных работ автоматически обеспечивает выполнение заданий по росту производительности труда, выработке машин, уровню механизации работ, снижению себестоимости и т. д. Выделение в качестве ограничений заданий по механизации трудоемких и тяжелых процессов объясняется тем, что механизация строительства наряду с экономическим фактором технического прогресса является также и социальным фактором, так как облегчает труд и делает его менее опасным для жизни и здоровья людей. Эта сторона механизации не всегда экономически эффективна в рамках строительных организаций, поэтому она должна быть выставлена в качестве ограничения. Внедрение новой техники также не всегда приносит экономический эффект на стадии освоения и, главное, требует затрат определенной энергии от руководителей строительных подразделений. В связи с этим для более успешного решения перспективных задач развития механизации строительства задания по внедрению новой техники следует включать в качестве ограничений [6].

Для поиска оптимального решения необходимо иметь исчерпывающие сведения о возможных вариантах постановки и решения задач, располагать единым критерием для сравнения возможных решений, что на практике не всегда выполнимо. Часто это связано с неполнотой информации, которая обычно имеется в распоряжении исследующей стороны. К ней относятся исчерпывающая своевременная и достоверная информация о фактическом использовании машин, сведения по гидрогеологии и топографии трасс, об объемах и структуре работ и другие исходные данные, необходимые для поиска оптимального решения. Причиной, в ряде случаев затрудняющей получение оптимальных решений, является неявность целей, преследуемых при постановке задачи, и, как результат этого, нечеткое установление критерия эффективности и недостаточно четко оговоренные ограничения условий решения задачи. Ограничения во времени, которым располагают исследователи, иногда вынуждают принимать некоторые допущения, например о линейной зависимости, возможности использования детерминированной модели.

Решение комплексной механизацией строительно-монтажных работ двух аспектов проблемы (социальных и экономических) не позволяет в процессе оптимизации найти глобальный оптимум по единому критерию эффективности, поскольку еще не найдены количественные методы соизмерения экономических и

социальных результатов. Вследствие этого на практике получают решения, которые можно охарактеризовать как рациональные, т. е. близкие к наилучшим, но не строго оптимальные. Однако в целом все это не снижает важности и актуальности постановки и решения задач оптимизации машинооснащения.

Как показало изучение вопроса целесообразности применения математических методов и электронно-вычислительной техники, к решению задач в области механизации строительства относятся:

- планирование поставок машин;
- оптимизация режимов работы машин и их комплексов;
- установление оптимальных параметрических рядов машин, отличающихся по мощности и производительности;
- совершенствование структуры парка машин путем установления оптимального соотношения в выпуске отдельных видов и типоразмеров машин, используемых на строительно-монтажных работах;
- определение оптимальных сроков перехода на производство машин новых моделей с учетом темпов технического прогресса в технологии машиностроения и совершенствования объемно-планировочных и конструктивных решений объектов строительства и технологии строительно-монтажных работ;
- оптимизация сроков службы, периодичности ремонта и технического обслуживания машин;
- определение состава, количества и организации работ передвижных средств технического обслуживания и ремонта машин в трассовых условиях; определение оптимального числа ремонтных предприятий, их размещения и мощности;
- расчеты организационно-технологической надежности комплектов машин и ряда других технологических, организационных и управленческих задач, связанных с созданием и использованием средств механизации трубопроводного строительства.

Перечисленные задачи по времени реализации могут быть классифицированы на перспективные и оперативные, по производственному назначению — на реализуемые в сфере строительства и в сфере машиностроения, по характеру постановки и решения задачи — на статические и динамические, детерминированные и стохастические. По характеру исходных данных и получаемых решений все методы можно подразделить на детерминированные и стохастические (вероятностные). Детерминированные методы жестко задают параметры протекания процессов. Их применение значительно облегчает процедуру получения результатов, однако описание реальных процессов детерминированными методами не отражает всей сложности [14].

### **Моделирование работы комплектов машин методами теории массового обслуживания**

Специфика работы комплектов машин в трубопроводном строительстве, характеризуемая тесной технологической взаимосвязью, создает предпосылки для широкого применения методов теории массового обслуживания. Такое моделирование получило распространение при нахождении оптимального числа

транспортных средств, работающих в сочетании с погрузочно-разгрузочными машинами: краны и автомашины, экскаваторы и самосвалы.

При использовании в расчетах рациональных составов машин методов теории массового обслуживания [11] строят математическую модель процесса работы комплекта машин, которая должна отражать реальные взаимосвязи в работе машин с учетом статистических закономерностей частоты и продолжительности перерывов в работе машин в конкретных трассовых условиях. Решение таких задач осуществляют по следующим взаимосвязанным этапам:

- статистическое изучение потока требований на обслуживание и времени его осуществления;
- подбор аналитических выражений и методов решения задачи, установление критериев для оценки качества работы системы;
- непосредственное решение задачи, связанное с определением вероятностных характеристик и критериев эффективности функционирования системы для конечного числа вариантов;
- технико-экономическая оценка полученных решений и выбор на ее основе оптимального варианта.

В трубопроводном строительстве, где в специализированном линейном потоке функционирует большое число комплектов машин, использование методов теории массового обслуживания затруднительно для оптимизации всего потока. Целесообразность применения этих методов ограничивается решением задач для узких мест, т. е. для тех взаимосвязанных комплектов машин, которые в наибольшей степени влияют на технико-экономические показатели по строительству в целом. Для оптимизации всего процесса применяют методы имитационного моделирования.

Как показывает практика строительства, от правильного выбора числа транспортных средств для своевременной доставки на трассу плетей, битумной мастики, изоляционных материалов во многом зависит темп комплексного потока и стоимость строительства. Внутрисменные простои изоляционно-укладочных колонн часто являются результатом несвоевременной доставки битума. С увеличением диаметров и толщины стенки труб темп строительства во многом определяется производительностью сварочно-монтажной бригады, поэтому возрастает значение задач по определению рационального состава бригады неповоротной сварки стыков. При существующей технологии задача заключается в определении рационального числа сварщиков в сочетании со звеном сборки и сварки корневого шва. В перспективе возникает задача синхронизации работы автоматизированных сварочных машин на сборке и сварке последующих слоев. Можно значительно расширить круг задач, общими свойствами которых являются взаимосвязь в работе машин и их комплектов и зависимость перерывов в работе машин от их числа и схемы организации работ. Такие задачи можно решить методами теории массового обслуживания [6].

Основной показатель, определяющий применение того или иного метода моделирования,— характеристика потока требований. В общем случае понятие «требование» включает возможность простоев при совместной работе машин (кран, загружающий плетевозы) или последовательной циклической работе (сборка

и сварка корневого шва и сварка последующих швов). По результатам статистического анализа работы комплектов машин можно определить характеристики потока поступления требований на обслуживание и процесса обслуживания. В общем случае требование на обслуживание состоит в том, что технологический перерыв одной из машин комплекта или комплекта машин приводит к остановке работ на смежном производственном процессе, а характеристику процесса обслуживания определяет закон распределения продолжительности данного организационно-технологического перерыва.

Высшая форма решения проблемы оптимизации машино-оснащения — разработка и внедрение автоматизированной системы управления механизацией строительства (АСУМС). Автоматизированные системы управления строительством (АСУС) получили развитие и в трубопроводном строительстве. Отраслевая автоматизированная система управления (ОАСУ) представляет собой совокупность административных и экономико-математических методов, средств вычислительной техники и связи, позволяющих органам управления центрального аппарата осуществлять оптимальное управление отраслью в условиях новой системы планирования и экономического стимулирования. В практике строительства наибольшее распространение получили автоматизированные информационные системы (АИС), предназначенные для сбора и обработки информации о ходе строительства на важнейших контролируемых объектах. По каналам АИС передается информация о выработке комплектов машин, сборке и транспортировке секций труб. Машинная обработка информации применяется для расчета технико-экономических показателей результатов деятельности строительно-монтажных организаций. Разрабатывается автоматизированная система управления технологическими процессами в строительстве трубопроводов (АСУТП в СТ), представляющая собой систему управления объектом, которая предназначена для выработки и реализации по принятому критерию управляющих воздействий на технологию строительства и осуществляющие ее технические средства [4,7,8].

Промежуточное место между детерминированными моделями с регулярным потоком требований и моделями с простейшими потоками требований занимают системы, функционирование которых описывается регулярным потоком с возмущением, и системы с ограниченным последствием. Математическое описание таких процессов в каждом конкретном случае определяется их спецификой и сводится к получению модели, воспроизводящей поведение системы, т. е. законов распределения поступления требований на обслуживание и процесса обслуживания. Для моделирования таких процессов используют метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) [4]. Применение метода статистических испытаний требует значительных объемов вычислений на ЭЦВМ, что не всегда целесообразно для принятия разовых решений в условиях строительства. В связи с этим следует помнить, что детерминированная модель отражает идеальные условия проведения работ и позволяет определить минимальное число машин в комплектах, а модель простейшего потока воспроизводит наихудшие условия работы и при прочих равных условиях позволяет определить максимальную потребность в машинах.

Для решения практических задач обычно достаточно знать граничные значения числа комплектующих машин. Анализ работы изоляционно-укладочных, сварочно-монтажных и землеройных колонн показал, что в сложных природно-климатических условиях возникновение внутрисменных перерывов в основном обладает свойствами ординарности, стационарности, частичного или полного отсутствия последствий, т. е. свойствами простейшего потока. Это позволяет сформулировать постановку задачи выбора рационального машинооснащения и определения оптимального сочетания продолжительности организационно-технологических перерывов взаимосвязанных комплектов машин при поточных методах строительства.

Детерминированная математическая модель процесса зависит от технологии и организации работ. Для транспортных средств (плетевозов, битумовозов) она имеет вид

$$N = \left(1 + \frac{t_s + t_g}{t_p}\right) n,$$

где  $N$  — число транспортных средств;  $t_s$  — время в пути;  $U$  — продолжительность работы (загрузки) на базе;  $t_g$  — время работы (разгрузки) на трассе;  $n$  — число колонн, обслуживаемых одновременно одной базой.

Методика выбора рациональных составов машин в комплектах по граничным значениям заключается в составлении моделей детерминированного процесса и простейшего потока, определении численных значений составов комплектующих машин по обеим моделям и введении корректировки на реальные условия проведения работ.

Рассмотрим порядок расчета на примере. Механизированную колонну, изолирующую и укладывающую трубопровод диаметром 1020 мм, обслуживают битумовозы. Расстояние до битумоплавильной базы 35 км. Средняя скорость битумовозов составляет 17 км/ч, а время в пути — 4,1 ч. Расчетное время обслуживания колонны при скорости изоляционной машины 140 м/ч равно 1,8 ч, а время загрузки битумовоза — 0,2 ч. Изоляционно-укладочная колонна периодически останавливается для заправки ванны изоляционной машины битумом. Как показал анализ внутрисменной работы колонн, промежутки времени между остановками для заправки неравномерны и обладают свойствами простейшего потока требований на заправку.

Процесс обслуживания заключается в том, что битумовоз подъезжает к изоляционной машине и заправляет ее. Если в тот момент, когда изоляционная машина израсходовала битум, все битумовозы находятся в пути или под загрузкой, колонна простаивает. Если на трассе оказывается больше одного битумовоза, простаивают битумовозы.

### **Имитационное моделирование работы механизированных комплектов**

Методы имитационного моделирования [12, 14] применяют для получения количественных оценок функционирования, производительности, эффективности или ценности систем. Их цель — заблаговременное сравнение вариантов будущей системы. Отыскивается не обязательно наилучшее решение. Чаще имитация дает представление о последствиях функционирования систем с различными входными параметрами. Имитационное моделирование позволяет многократно

воспроизводить на ЭВМ процессы работы человеко-машинных систем с изменяемыми входными параметрами. В результате имитационного моделирования появляется возможность проанализировать поведение исследуемой системы (комплекты машин, механизированные комплексы и т. д.) и определить ее выходные статистические и динамические характеристики. Решение таких задач позволяет предвидеть сроки окончания работ, себестоимость их выполнения и для конкретного объекта, периода его строительства и выделенных или заданных ресурсов. Методом имитационного моделирования можно решать и обратные задачи, а именно: посредством имитации на ЭВМ результатов работы комплектов машин при различных вариантах механизации выбрать наилучший из них по заданному критерию эффективности. За некоторым «порогом сложности систем» имитационное моделирование является, благодаря своей гибкости и возможности декомпозиции многомерных задач на более простые, практически единственным методом стохастического моделирования.

К такой системе можно отнести и механизированный трубопроводостроительный комплекс. Его подсистемами служат комплекты машин на отдельных процессах, а внутренними связями— межкомплектные взаимосвязи. Подсистемами еще более низкого уровня являются системы человек— машина. В этих подсистемах действуют внутрикомплектные взаимосвязи.

Определение условий, при которых достигается наилучшее решение проблемы с учетом выше перечисленных взаимосвязей между видами работ и большого числа определяющих их факторов, возможно в рамках имитационного моделирования строительства магистральных трубопроводов с предварительной математической формализацией. В первую очередь необходимо разобраться в структуре элементов будущей модели и связях между ними. Например, разработка траншей осуществляется человеко-машинной подсистемой, включающей набор землеройных машин и экипажей машинистов. Представляется возможным вывести и записать алгоритмически закономерности влияния выработки машины каждого типа в зависимости от группы: разрабатываемого грунта, его влажности, температуры [5]. Причем в основу формализации могут быть положены физические закономерности, описанные теорией резания грунтов, или результаты статистической обработки производственных экспериментов, хронометражных данных и т. д. Как и реальная система, модель должна предусматривать возможность отказа машины и «отказа машиниста» (например, по болезни). В связи с этим в модели должны быть отражены результаты анализа надежности элементов системы и их зависимости от природно-климатических условий, принятых форм организации труда и быта машинистов, организации технического обслуживания и ремонта машин, наличия резерва техники. Модель должна предусматривать возможность возникновения простоя машин по метеорологическим и организационным причинам, т. е. имитировать погоду, дорожные условия, организацию снабжения горючим и т. д. Необходимое условие конструирования модели — установление связей внутри системы и с внешней средой. Для математического описания этих связей могут быть широко использованы методы корреляционно-регрессионного анализа, теория массового обслуживания, теория графов.

Если на вход имитационной модели подаются массивы данных, характеризующих конструкцию трубопровода, трассу, нормативные параметры и другие данные в виде постоянных и переменных, управлять которыми невозможно, в результате имитационного моделирования можно однозначно предсказать результаты ее функционирования: сроки строительства, затраты. С целью выбора рационального решения, а также для принятия решений в процессе строительства в модель необходимо ввести управляемые параметры и переменные (варианты технологии и организации строительства, системы технического обслуживания и ремонта машин, возможность перераспределения ресурсов).

Имитационная модель является упорядоченной в соответствии с требованиями теории сложных систем совокупностью параметров, функциональных и корреляционных зависимостей ограничений, целевой функции. Укрупненная блок-схема имитационной модели формирования комплектов машин трубопроводостроительных комплексов.

Задачи по управлению формированием и использованием парков машин составляют особый крупный подкласс, непосредственно связанный с созданием автоматизированных систем управления строительством. Рассмотрим две постановки вопроса: нахождение оптимальных стратегий использования имеющихся в наличии активных средств (машин, оборудования, транспортных средств); определение направления развития активных средств, т. е. решение задачи перспективного планирования, где ограничением является объем капитальных вложений на производство активных средств. Одна постановка вопроса не исключает другую. Более того, результаты ранних исследований должны давать опорные решения для последующих. Для первой задачи характерны более жесткие ограничения, вызванные определенной структурой работ и необходимостью учета сложившейся инертности связей в управлении строительством. Для второй задачи при большей свободе в выборе стратегий типично повышение роли случайных и неконтролируемых факторов, таких, как прогнозируемая добыча газа и нефти, способы транспортировки газа, поэтому решение этой задачи эффективно только по отрасли в целом. Правомерность постановки первой задачи справедлива как для министерства в целом, так и для главка, треста, СУ, причем для менее крупной строительной организации задача оптимального распределения ресурсов может быть решена на более короткий срок [3,4,8].

Блоки позволяют проанализировать влияние метеорологических условий на характер протекания различных технологических процессов, темпы проведения работ и возможность их выполнения. В блоках анализируется возможность простоя на каждом виде работ вследствие отказов машин и отсутствия людских ресурсов. В случае фиксации простоя на одном из видов работ в блоках 15—20 анализируется его влияние на результаты работы всего механизированного комплекса в имитируемый день. При этом учитываются возможность выполнения работ при отказе одного или нескольких элементов «человек — машина», снижение темпов в период преодоления сложных участков трассы и т. д. В последующих блоках проводятся накопление и обработка результатов имитаций.

Управляя процессом путем ввода различных технологических и организационных решений, можно выбрать наилучшее из них.

Автоматизированные имитационные модели реализуются на языках «Кобол», «Фортран», «Симула», «Алгол» и др.

Отработка имитационной модели требует проведения эксперимента с целью проверки адекватности модели отображаемой ею системы. Результаты эксперимента рассматриваются как одна из возможных реализаций имитационного моделирования. Сопоставление результатов эксперимента и некоторого числа его имитаций на ЭВМ проводится по одному или нескольким критериям подобия. Если результаты эксперимента находятся в допустимых границах, считается, что имитационная модель достаточно точно отражает функционирование реальной системы. Метод имитационного моделирования может быть применен для решения следующих задач:

- формирование и распределение по объектам парка машин отрасли с учетом дополнительной потребности;
- определение рационального состава технических и людских ресурсов для поточного строительства магистральных и промысловых трубопроводов при составлении ПОС и ППР;
- определение области экономически целесообразного использования механизированных комплексов различной производственной мощности в зависимости от объектов и условий строительства;
- синхронизация выполнения работ при поточном строительстве магистральных трубопроводов;
- определение рациональных технологических заделов на смежных производственных процессах;
- оптимизация количества механизированных комплексов для трасс большой протяженности и их производственной мощности;
- управление поточным строительством одного или нескольких объектов;
- управление парком машин на уровне отрасли, главка, треста; организация, планирование и управление техническим обслуживанием и ремонтом машин.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов С. И. Эффективность использования строительных машин. М., Стройиздат, 1987.
2. Баловнев В. И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно-строительных машин. М., Машиностроение, 1999.
3. Бородавкин П. П., Березин В. Л. Сооружение магистральных трубопроводов. М., Недра, 1997.
4. Гальперин М. И., Домбровский Н. Г. Строительные машины. М., Стройиздат, 1981.
5. Гоберман М. Д., Русанов А. И. Техническое нормирование и оплата труда в строительстве. М., Стройиздат, 1982.
6. Гусаков А. А. Основы проектирования организации строительного производства. М., Стройиздат, 1997.
7. Домбровский Н. Г. Повышение производительности экскаваторов. М., Стройиздат, 1981.
8. Канторер С. Е. Методы обоснования эффективности применения машин в строительстве. М., Стройиздат, 1989.
9. Климовский Е. М. Продувка и испытание магистральных трубопроводов. М., Недра, 1996.
10. Логинов Т. С., Перльштейн И. Ю. Эксплуатация машин и механизмов на строительстве трубопроводов. М., Недра, 1981.
11. Савенко В. А., Ефимов А. С. Комплексная механизация сооружения магистральных трубопроводов. М., изд. Информнефтегаэстроля, 1998.
12. Телегин Л. Г., Карташов Г. И. Организация строительства линейной части магистральных трубопроводов. М., Недра, 1991.
13. Телегин Л. Г. Проектирование организации строительства линейной части магистральных трубопроводов.— Проектирование и строительство. М., изд. ВНИИЭгазпрома, 1988.
14. Фейгин Л. А. Эксплуатация и производительность строительных машин. М., Стройиздат, 1992.





Формат 60x84 1\12  
Объем 95 стр., 8 печатных листа  
Тираж 20 экз.  
Отпечатано  
В Редакционно- издательском отделе  
КГУТиИ им.Ш.Есенова  
г.Актау, 32мкр.