

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Инженер В.К.БЮДИК

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОНТАЖА ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
И АППАРАТОВ МЕТОДОМ ВЫЖИМАНИЯ

(0,5.487. Технология и механизация строительного
производства)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Минск 1971 год

Научный руководитель - кандидат технических наук В.Б. ХАРАС.

Официальные оппоненты:

- | | |
|---------------------------------------|-------------|
| 1. Профессор, доктор технических наук | П.А. ЗИМИН |
| 2. Доцент, кандидат технических наук | А.И. КОРЖУН |

Автореферат разослан " 20 " III _____ 1971 г.

Защита диссертации состоится " 23 " IV _____ 1971 г.
на заседании Совета по присуждению ученых степеней по строительным,
гидротехническим, химико-технологическим специальностям и строитель-
ству коммунальных сооружений при Белорусском ордена Трудового Крас-
ного Знамени политехническом институте.

Просим Вас прислать отзыв в 2-х экземплярах, заверенный печатью,
по адресу: г. Минск, 27, Ленинский проспект, 65, Белорусский поли-
технический институт, Ученому секретарю Совета.

Дата защиты будет объявлена в газете "Вечерний Минск".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БПИ.

Ученый секретарь,
кандидат технических наук,
доцент

И.С. КАЧАН

Сроки строительства современных предприятий во многом зависят от принятой технологии монтажа оборудования и конструкций. Существенно уменьшают длительность строительства методы крупноблочного монтажа, предусматривающие установку в проектное положение полностью собранных конструкций и аппаратов. Четвертая часть общего роста производительности труда монтажников Минмонтажспецстроя СССР в прошедшей пятилетке достигнута за счет широкого внедрения этих методов.

В области монтажа вертикальных аппаратов и конструкций, который является наиболее сложным на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, методы крупноблочного монтажа получили значение основного направления технического прогресса и обеспечивают сокращение сроков монтажа на 25-30%.

В новом пятилетии на строящихся объектах Миннефтехимпрома необходимо будет смонтировать 4500 вертикальных аппаратов общим весом около 410 тыс. т. Отдельные аппараты нефтеперерабатывающих установок имеют вес 400-450 т и высоту до 80 м, а вес некоторых проектируемых аппаратов достигнет 600-700 т. При этом высота фундаментов аппаратов колеблется в широких пределах от 1 до 30 м. Вес вертикальных конструкций типа вытяжных труб, монтируемых также в собранном виде, достигает 300 т, высота - 150 м, и имеются предпосылки дальнейшего увеличения этих показателей.

Наряду с этим из-за насыщения производственных объектов различными сооружениями, технологическим оборудованием и коммуникациями строительная площадка становится все более и более стесненной, что усложняет условия монтажа. Особенно это сказывается при реконструкции действующих предприятий.

Монтаж вертикальных конструкций в большом объеме производится с помощью различной такелажной оснастки, так как применение самоходных кранов не всегда возможно из-за габаритов и веса конструкций и аппаратов, большой стоимости эксплуатации кранов при разовых подъемах

и необходимости их перебазировки, а также из-за отсутствия во многих случаях площадки для установки и перемещения кранов в процессе подъема.

С точки зрения методов монтажа к вертикальным конструкциям могут быть отнесены также махтовые копры, буровые вышки, опоры ЛЭП, водонапорные башни и даже козловые краны и другие.

Увеличение веса и высоты вертикальных аппаратов и конструкций и изменение характера строительной площадки выдвигает в качестве постоянной задачи совершенствование методов и средств монтажа.

В области монтажа вертикальных конструкций и аппаратов работает ряд научно-исследовательских (Всесоюзный научно-исследовательский институт по монтажным и специальным строительным работам, Научно-исследовательский конструкторский институт монтажной технологии) и проектных организаций (Гипронефтеоспецмонтаж, Гипрохиммонтаж, ЦКБ Главтехмонтажа, Промстальконструкция), многие монтажные тресты и отдельные исследователи.

Диссертация посвящена выявлению, разработке и исследованию одного из перспективных методов подъема, отвечающего усложняющимся требованиям, предъявляемым к комплексному монтажу, обеспечивающего дальнейшее расширение области и эффективности его применения.

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка печатных работ и перечня использованной литературы.

Первая глава диссертации содержит анализ основных методов и схем подъема и установки на фундамент вертикальных конструкций и аппаратов (в дальнейшем обобщенно — конструкций) с помощью такелажных средств, выполненный на основе изучения отечественного и зарубежного опыта.

Предложена классификация применяемых методов и схем, в основу которой положены: метод скольжения, включающий две схемы; метод поворота вокруг шарнира, включающий шесть схем, метод скольжения с пово-

ротом вокруг подвижного шарнира, включающий две схемы, безъякорный метод, включающий три схемы; метод выжимания перемещающейся подпоркой, включающий две схемы. При оценке этих методов и схем учтена возможность их использования для подъема на фундаменты различной высоты и установлено, что для подъема конструкций на высокие фундаменты (выше 3 м) применимы только два метода: скольжения и выжимания.

Метод подъема скольжением предусматривает применение такелажных средств высотой не менее высоты установленного на фундамент аппарата и грузоподъемностью, на 10-30% превышающей его вес. Характерной особенностью этого метода является возникновение максимальных нагрузок на оснастку в конечной стадии подъема при отрыве конструкции от земли.

В последнее время большое распространение получил метод подъема поворотом вокруг шарнира, позволивший поднимать конструкции весом, превышающим номинальную грузоподъемность оснастки в 1,3-1,5 раза и отличающийся возникновением максимальных усилий в оснастке в начальный момент подъема при отрыве верхней части конструкции от земли. Однако этот метод характеризуется отношением высот такелажных средств и конструкций в пределах 0,95-1,2 и приводит к возникновению значительных воздействующих на фундамент горизонтальных усилий, достигающих 70% веса конструкции. Метод теоретически обоснован к.т.н. З.Б.Харасом и послужил основой для дальнейшего совершенствования методов и схем подъема.

Совмещение методов скольжения и поворота позволило создать новый метод подъема - скольжением без отрыва от земли, включивший положительные качества обоих исходных методов, но также не создавший предпосылок для уменьшения высоты такелажных средств.

Безъякорный метод, основанный на создании в процессе подъема замкнутой кинематической и силовой системы, позволил отказаться от расчалок и якорей для крепления такелажных средств, применяемых при всех указанных выше методах, и незначительно уменьшить высоту этих средств.

Однако для обеих основных схем этого метода, обоснованных к.т.н. В.Г.Чхадзе и к.т.н. К.К.Котовым, характерна строповка конструкции вблизи ее центра тяжести, что обуславливает возникновение максимальных монтажных нагрузок. Кроме того, первая из схем, позволяющая осуществить самоподъем такелажных средств, применима лишь для монтажа конструкций большого поперечного сечения.

Анализ и сопоставление перечисленных методов позволили сделать вывод о недостаточной их эффективности при осуществлении подъема конструкций большой длины, монтаже в стесненных условиях, подъеме на высокие фундаменты и из-за применения такелажной оснастки большой высоты, требующей, как правило, использования для своего монтажа дополнительных такелажных средств или большой площадки для сборки перед подъемом. Решение указанных вопросов может быть достаточно эффективно достигнуто путем применения метода подъема выжиманием. При этом методе подъем конструкции осуществляют с помощью подпорки, представляющей собой, как правило, портал, траверсу которого крепят к корпусу конструкции, а основание стоек — перемещают полиспастами по направляющим к шарниру, поворачивая конструкцию вокруг последнего (рис. I).

Процесс подъема выжиманием осуществляется до нейтрального положения, при котором центр тяжести системы (конструкции и такелажной оснастки) займет положение над осью поворотного шарнира. Установка в проектное положение производится торможением оттяжкой.

Изучение подъемов различных конструкций, осуществленных в производственных условиях этим методом, позволило выявить две основные схемы: схему I, при которой траверсу подпорки крепят непосредственно к корпусу конструкции, и схему II, при которой эта траверса удалена от конструкции и связана с ней с помощью гибких подвесок.

Схема I была впервые применена Ростовской бригадой института

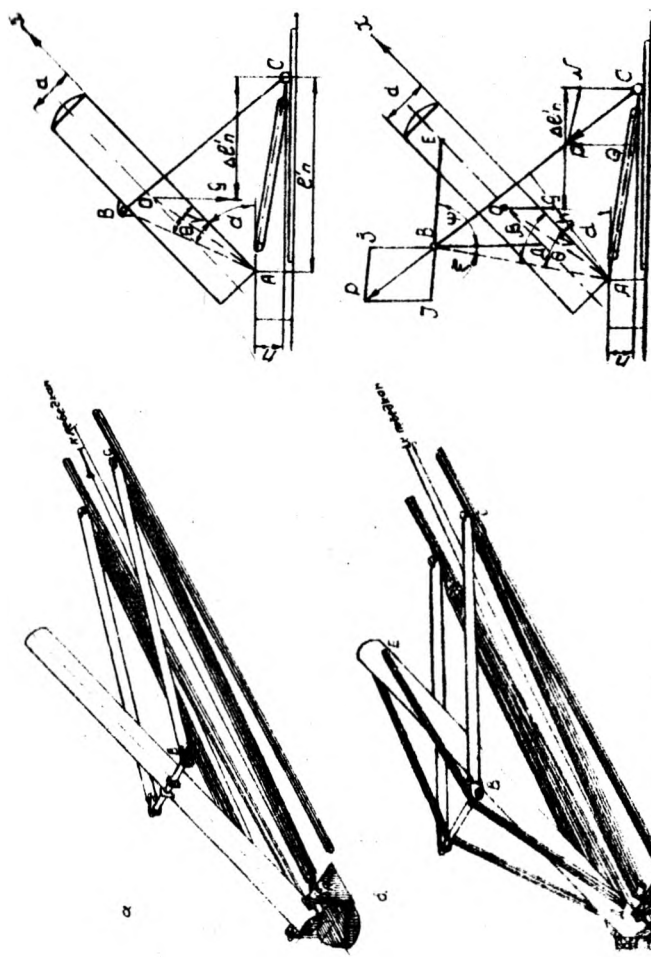


Рис. I. Расположение тяжелой оси и в конструкции при
выпуклости; условные обозначения:

а) схема I, б) схема II.

$AO = a$; $AB = b$; $AC = c$; $BC = m$

Промстальконструкция и Ростовским управлением Южстальконструкция в 1961г. При монтаже переходных опор ЛЭП и др. конструкций. Несколько экспериментальных подъемов по этой схеме были также в разное время выполнены под руководством инженера Б.Ф.Сайко при монтаже надшахтных копров и других конструкций. Эта схема была в дальнейшем развита и дополнена кандидатом технических наук М.И.Васильевым и инженером Е.В.Грузиновым и применена в 1969г. на подъеме аппарата весом 63 тонны в г.Воронеже. М.И.Васильев разработал вариант данной схемы с применением подпорок - толкателей. Известно, что по схемам I и II различными организациями произведены также единичные подъемы в Хаба - ровске, Новокузнецке, Ангарске.

Указанные подъемы, подтвердившие экономическую эффективность метода выжимания, не привели однако к выявлению его особенностей и созданию методики определения оптимальных параметров такелажной оснастки и величины усилий, возникающих в ее элементах.

Необходимость исследования метода подъема конструкций выжиманием диктуется не только преимуществами и перспективностью этого метода, но также и тем, что незнание его особенностей может привести к аварийной ситуации.

Поэтому всестороннее исследование этого метода является актуальной задачей, решение которой явилось предметом настоящей диссертации, имевшей своей целью:

- теоретическое исследование кинематических схем метода выжимания, закономерностей изменения и величины усилий в элементах такелажной оснастки;
- выявление особенностей схем и определение их оптимальных параметров;
- создание методики расчета кинематических и силовых факторов для проектирования подъемов;
- экспериментальную проверку соответствия теоретических и действительных усилий в такелажной оснастке и распределения их в парных элементах, а также выявление и оценку динамических явлений;

- обоснование наиболее эффективной схемы подъема;
- широкую проверку результатов исследования и разработанной методики в производственных условиях;
- создание рекомендаций по проектированию и осуществлению подъемов методом выжимания.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию кинематических характеристик подъема конструкций методом выжимания.

Наряду с тем, что метод выжимания основан на использовании свойств замкнутой системы, образованной конструкцией и элементами тахолажной оснастки, его кинематические схемы отличаются от схем всех других методов изменением взаимного расположения конструкции и оснастки не только за счет их наклона к основанию, но и за счет перемещения точки опоры подъемного устройства.

Кинематические изменения схемы определяют положения центра тяжести системы O и оси траверсы подпорки B , которые относительно оси X с полюсом в точке A заданы соответственно координатами: полярными радиусами центра тяжести α и оси траверсы подпорки β и полярными углами центра тяжести γ и оси траверсы β (рис. I).

Установлено, что рассмотрение вместо линейных размеров элементов кинематической схемы их отношения к полярному радиусу центра тяжести и отсчет от этого радиуса угла подъема конструкции $(\alpha + \gamma)$ и полярного угла траверсы $(\theta = \beta - \gamma)$ позволяет выявить общие закономерности процесса и установить эквивалентность схем с точки зрения кинематики и величины относительных усилий (по отношению к весу поднимаемой конструкции G) в отдельных элементах, заключающаяся в равенстве соответственно относительных линейных размеров и углов θ , $(\alpha + \gamma)$, φ , φ' , ψ , χ .

При исследовании приняты следующие пределы изменения параметров, имеющие практическое значение:

$$0,5 \leq \frac{b}{a} \leq 1,5; \quad 0 \leq \frac{\gamma}{\alpha} \leq 0,5; \quad 0 \leq \gamma \leq 15^\circ; \quad 0 \leq \beta \leq 45^\circ; \\ 0 \leq \theta \leq 45^\circ.$$

Связь между углом наклона подпорки φ и углом подъема конструкции α выражается зависимостью $\varphi = \arcsin \frac{n + \beta \sin(\alpha + \beta)}{m}$ (I)

Необходимыми условиями для осуществления подъема являются:

1. Достаточная длина m подпорки;
2. Достаточное расстояние между осями поворотного шарнира и шарнира опоры подпорки — ln , обеспечивающее размещение подиспаств в конечной стадии подъема;
3. Расположение подпорки на всем протяжении подъема по схеме П внутри угла ψ , образованного подвесками.

Для выполнения первого условия принципиальное значение имеет расположение центра тяжести системы относительно оси опоры подпорки С, которое определяется уравнением

$$\frac{\Delta \ell_1}{a} = \frac{b}{a} \cos(\alpha + \beta) + \frac{m}{a} \cos \varphi - \cos(\alpha + \gamma) \quad (2)$$

Приняв за минимальную теоретическую длину подпорки такую длину, при которой ее опора располагается при нейтральном положении конструкции на одной вертикали с осью поворотного шарнира и центром тяжести системы ($\frac{\Delta \ell_1}{a} = 0$), исследуем характер изменения величины $\frac{\Delta \ell_1}{a}$ (рис. 2).

Установлено, что при этом большой участок подъема проходит при отрицательном значении величины $\frac{\Delta \ell_1}{a}$. Это указывает на смещение центра тяжести системы за ось опоры подпорки, в силу чего система стремится повернуться вокруг этой оси, а в поворотном шарнире возникает отрывающие (отрицательные) усилия. Увеличение длины подпорки приводит к сокращению такого участка подъема. При определенной для каждой схемы длине подпорки этот участок сокращается до нуля, а весь вес системы в этой точке подъема воспринимается опорой подпорки.

Дальнейшее увеличение длины подпорки позволяет провести подъем на всем его протяжении при опирании системы на две точки — поворотный

шарнир и опору подпорки – и, следовательно, при положительных значениях усилий в шарнире и величины $\frac{\delta \mathcal{E}_n}{a}$.

Анализ кривых изменения этой величины при различных длинах подпорки (рис. 2) показывает, что такое опасное явление, как потеря устойчивости системы, может возникнуть при неправильном выборе длины подпорки, причем не в начале, а на средней стадии подъема.

Минимальная относительная длина $\frac{m_{кр}}{a}$, обеспечивающая отсутствие отрывающих усилий в поворотном шарнире, и угол подъема конструкции $\alpha_{кр}$, при котором центр тяжести системы располагается над осью опоры подпорки этой длины рассматриваются как критические.

Для определения критических величин $\frac{m_{кр}}{a}$ и $\alpha_{кр}$ выведены теоретические уравнения, трудоемкое решение которых было произведено с помощью ЭВМ "Наири-2".

На основе полученных результатов и найденных аналитическим путем зависимостей этих величин от угла θ построены совмещенные номограммы, охватывающие широкие пределы изменения параметров, характеризующих кинематическую схему.

Незначительная кривизна линий, определяющих на этих номограммах относительные длины критической подпорки для различных значений величины $\frac{b}{a}$, позволила заменить их параллельными прямыми, имеющими одинаковый угол наклона к шкале $\frac{m_{кр}}{a}$ и получить следующее простое уравнение:

$$\frac{m_{кр}}{a} = \frac{n}{a} + \frac{b}{a} + K\theta, \quad (3)$$

где K – угловой коэффициент ($\frac{1}{град}$), определяемый по графику (рис.3).

Проверка сходимости результатов расчета по уравнению (3) к основному теоретическому уравнению показала вполне допустимое превышение определяемой величины $\frac{m_{кр}}{a}$ в пределах до 4%.

При анализе указанного выше второго условия, необходимого для осуществления подъема, установлено различие в кинематике схем I и II на последней стадии подъема. Оно заключается в том, что при подъеме

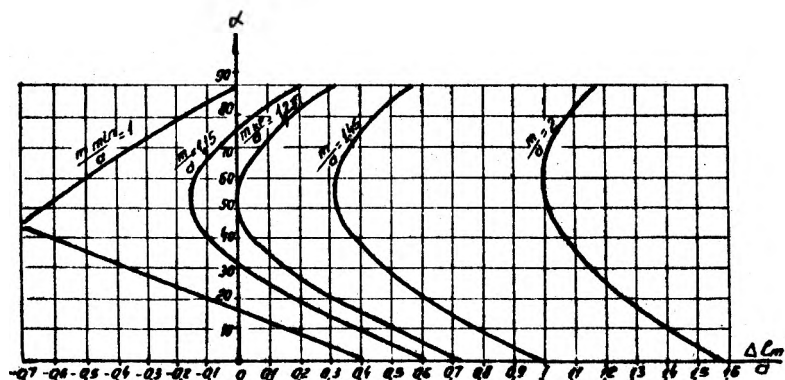


Рис.2. График изменения относительного расстояния ($\frac{\Delta l'}{a}$) между проекцией центра тяжести конструкции и опорой подпорки в зависимости от угла подъема α и относительной длины подпорки ($\frac{n}{a}$) при $v=0$, $n/a = 0$, $\beta/a = 1$, $\beta = 45^\circ$

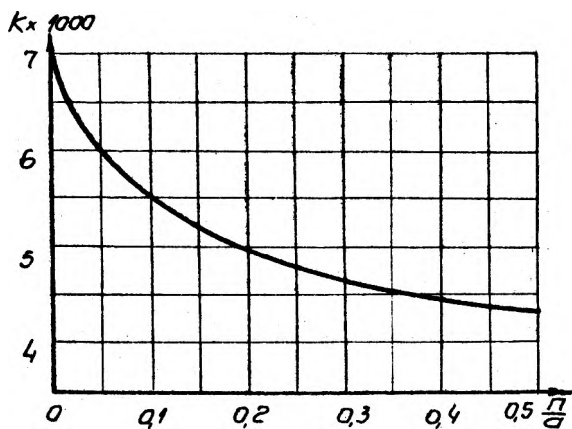


Рис.3. График для определения коэффициента K

по схеме I от нейтрального до вертикального положения продолжается перемещение основания подпорки и уменьшение расстояния между точками А и С, которое занимает полиспасть. Следовательно, величина этого расстояния должна учитываться для схемы I при вертикальном, а для схемы II при нейтральном положении конструкции. При малых линейных размерах схемы это может потребовать увеличения подпорки по сравнению с ее критической длиной, причем, увеличение будет более значительным для схемы I.

В результате рассмотрения третьего условия получено уравнение:

$$\psi > \varphi_{min} = 90^\circ + \varphi_N - (\varphi_0 + \nu), \quad (4)$$

где φ_N — угол подъема подпорки, соответствующий нейтральному, а φ_0 — исходному положению конструкции.

Такая величина угла ψ между подвесками должна быть безусловно соблюдена для схемы II, что так же важно, как и правильный выбор длины подпорки.

Для определения нейтрального положения конструкции, совпадающего с моментом включения тормозной оттяжки, получено уравнение:

$$\alpha_N = \arctg \left(\frac{ga}{gB \sin \theta} + \operatorname{ctg} \theta \right) - \nu, \quad (5)$$

где g — вес оснастки, приведенный к центру траверсы подпорки.

Исследования, приведенные в настоящей главе, выявили кинематические особенности процесса, присущие методу выжимания, позволили получить математическое выражение этого процесса и создать методику определения критических параметров схемы.

В третьей главе проведены исследования характера изменения усилий в такелажной оснастке в процессе подъема, на основании которых определены оптимальные параметры схем I и II и произведено их сравнение.

Поворот конструкции вокруг шарнира А осуществляется усилиями в подпорке Р, возникающими в результате усилий в полиспацах А, оп-

ределяемых, соответственно, уравнениями:

$$\frac{P}{G} = \frac{a}{b} \frac{\cos(\alpha + \nu)}{\sin(\alpha + \beta + \varphi)} \quad (6)$$

$$\frac{Q}{G} = \frac{P}{G} \left[\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi'} + 1 - \frac{\sin(\varphi - \varphi')}{\cos 2 \varphi'} \right], \quad (7)$$

где μ — коэффициент трения при перемещении подпорки по направляющим.

Давление подпорки на направляющие определяется из $\frac{N}{G} = \frac{P}{G} \frac{\sin(\varphi - \varphi')}{\cos \varphi'}$

(8), а вертикальная реакция в поворотном шарнире — $\frac{R_v}{G} = 1 - \frac{N}{G}$ (9)

В качестве исходных показателей для исследования были определены начальные усилия, возникающие в талевой оснастке в момент отрыва конструкции от земли при использовании подпорки критической длины. Определение производилось на основании уравнений, вывод которых приводится во второй главе работы, а также уравнений (6) — (9).

Совместное решение этих уравнений с несколькими зависимыми переменными в принятых ранее пределах изменения параметров схемы было произведено на ЭВМ "Наири-2".

Полученные данные послужили основой для составления графиков изменения начальных усилий $\frac{P}{G}$, $\frac{Q}{G}$ и $\frac{N}{G}$ в зависимости от полярных координат траверсы подпорки.

Анализ графиков позволил выполнить сравнение этих усилий для схем I и II, учитывая свойственную каждой схеме возможность изменения координат точки В, т.е. положения траверсы подпорки относительно конструкции, находящейся в исходном положении.

При сравнении принята конструкция с полярным радиусом центра тяжести $\nu = 5^\circ$, что соответствует средним практическим данным; для схемы I — изменение полярного радиуса $0,5 \leq \frac{b}{a} \leq 1,5$ и полярного угла β в пределах этого изменения полярного радиуса при перемещении точки В по верхней образующей конструкции $19^\circ 20' \leq \beta \leq 6^\circ 40'$; для схемы II — изменение полярного угла траверсы в пределах $10 \leq \beta \leq 45^\circ$ при среднем значении полярного радиуса $\frac{b}{a} = 1$.

В результате сравнения выявлено, что при схеме I начальные уси-

для в полиспадах меняются в пределах от 3,4 до 3,1 веса конструкции, а для схемы II при наибольшей величине полярного угла эти усилия составляют всего 0,87 веса конструкции. Это относится к случаям установки конструкции на низкие фундаменты ($\frac{h}{a}=0$). Добавим, что длина подпорки при $\frac{b}{a}=1$ для схемы II составляет 1,19, а для схемы I - 1,14 величины полярного радиуса a .

Если провести сравнение при условии равенства усилий в такелажной оснастке, то схема II позволит осуществить подъем при координатах точки В - $\frac{b}{a}=0,5$, $\beta=25^\circ$ и применить подпорку относительной длины $\frac{m_{np}}{a}=0,68$.

для случаев установки на высокие фундаменты ($\frac{h}{a}=0,5$) усилия в полиспадах меняются соответственно для схемы I в пределах от 2,1 до 1,5 веса конструкции, а для схемы II составляют 0,785 (Рис. 46).

Таким образом доказано, что в отношении усилий на исходной стадии подъема схема II обладает явным преимуществом по сравнению со схемой I.

В дальнейшем, построением оовмещенных графиков изменения усилий в полиспадах и длины подпорки при увеличении полярного радиуса траверсы для схемы II были найдены параметры, определяющие оптимальные положения траверсы: $0,8 \leq \frac{b}{a} \leq 1,2$; $30^\circ \leq \beta \leq 45^\circ$.

Для схемы I, учитывая, что точка крепления подпорки не должна из условия собственной жесткости конструкции далеко смещаться от центра тяжести в сторону поворотного шарнира и что перемещение точки крепления от центра тяжести к вершине приводит к значительному увеличению длины подпорки при малом снижении усилий в оснастке, оптимальное положение траверсы подпорки на верхней образующей конструкции определено в пределах $0,9 \leq \frac{b}{a} \leq 1,2$.

Предметом специального исследования являлось далее определение характера изменения усилий в такелажной оснастке в процессе подъема

конструкции. Для этой цели были использованы уравнения, приведенные во второй и данной главе работы. В связи с возрастанием количества переменных в этих уравнениях, вызванным необходимым изменением угла подъема α , эта задача была решена на основе исследования созданной кинематической модели, оснащенной устройствами для одновременного определения характера изменения усилий в элементах такелажной оснастки. В дальнейшем путем сопоставления данных вычисления по уравнениям и результатов, полученных на модели, показавшего расхождения не более 3%, была подтверждена правомерность исследований с помощью такого моделирования.

Результаты данного исследования приведены на графиках, примером которых могут служить представленные на рис. 5.

Анализ графиков позволяет установить, что при небольших полярных углах траверсы β усилия в подпорках и полиспастах при подъеме конструкции на угол $\alpha = 10-15^\circ$ снижаются почти в два раза. При увеличении полярных координат траверсы (угла β и отношения $\frac{b}{a}$), а также поперечного сечения конструкции и высоты фундаментов, усилия в подпорках и полиспастах на средней стадии подъема возрастают и могут превышать начальные значения при исходном положении конструкции.

Область максимумов функций $F_g = f(\alpha)$ и $F_z = f(\alpha)$ при различных значениях $\frac{b}{a}$, определенных уравнениями (6), (7), найдена построением совмещенных графиков начальных и экстремальных значений этих функций в зависимости от полярных координат траверсы, высоты фундамента и полярного угла центра тяжести γ .

Обнаруженное увеличение усилий в подпорке и полиспастах на средней стадии подъема по сравнению с начальными является крайне нежелательным и даже опасным. Установлена возможность устранения этого опасного явления путем увеличения в пределах 10% длины подпорки по сравнению с критической, что позволяет понизить максимум функций

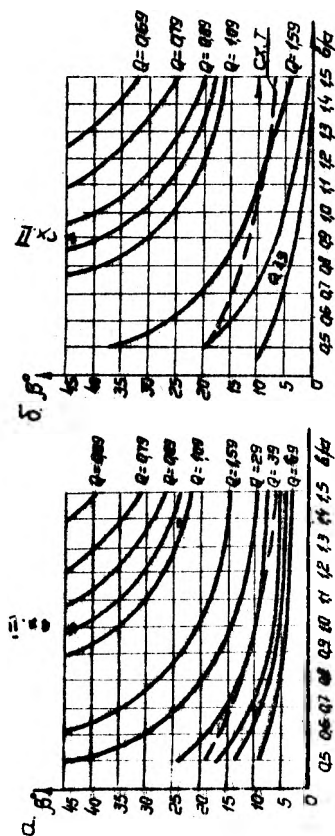


Рис. 4. Графики изменения относительной величины усилий в полостях при подбросе конструкции с $V = 50$ подпорной критической длины в зависимости от величины δ/a и β

а) при $\beta/a = 0$, б) при $\beta/a = 0,5$

$\frac{P}{G} = 4,69$ и $\frac{P}{G} = 4,6$ до величин, меньше начальных, или превратить эти функции в постоянно убывающие. При этом начальные усилия возрастают всего на 3-6%, а незначительное увеличение длины подпорки приводит к созданию запаса устойчивости системы относительно опоры подпорки.

Таким образом определено, что оптимальной является длина подпорки, на 10% превышающая критическую ее длину, и что использование оптимального варианта обеспечивает возникновение максимальных усилий в подпорке и полиспастах в начальный момент подъема.

Из сопоставления с другими методами подъема, рассмотренными в первой главе, следует, что схема II метода выжимания требует минимальной высоты такелажных средств по сравнению с этими методами. Из этого также следует, что при использовании схемы I целесообразен предварительный подъем конструкции на начальный угол $\alpha = 10-15^\circ$ вспомогательными средствами и дальнейший ее подъем выжиманием, что обеспечивает снижение усилий в полиспастах примерно в два раза.

Исследованы нагрузки, передаваемые на конструкцию такелажными средствами при разных методах и схемах подъема. Многие конструкции, особенно решетчатые и длинномерные, обладающие незначительной местной или общей собственной жесткостью, требуют при подъеме не только уменьшения передаваемых на них монтажных нагрузок, но и распределения их по длине конструкции или приложения в определенных местах.

С помощью схемы II метода выжимания эта задача решается достаточно просто за счет крепления траверсы подпорки различными системами подвесок, в то время, как при других методах подобное распределение нагрузок не предусматривается.

Установлено, что максимальные значения усилий в верхних и нижних подвесках уменьшаются с уменьшением угла между ними ψ и с ростом полярных координат траверсы, однако усилия в нижних подвесках всегда возрастают на средней стадии подъема (рис. 5).

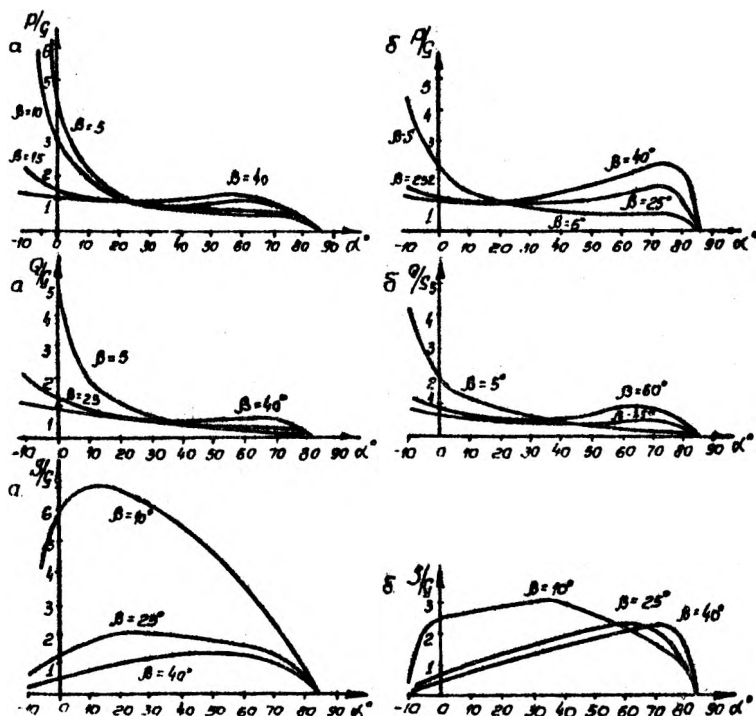


Рис.5. Графики изменения величины относительных усилий в стойках подпорки, полиспастах и нижних подвесках в зависимости от углов α и β при подъеме конструкции с $V = 5^\circ$ подпоркой критической длины при величине $\frac{H}{L} = 1$

а) при $\frac{H}{L} = 0$ б) при $\frac{H}{L} = 0,5$

В общем виде усилия в нижних подвесках определяются уравнением

$$\frac{S}{g} = - \frac{P}{g} \frac{\sin(\alpha + \beta + \varphi + \psi + \epsilon)}{\sin \psi} \quad (10)$$

а в верхних -
$$\frac{S}{g} = \frac{P}{g} \frac{\sin(\alpha + \beta + \varphi + \epsilon)}{\sin \psi} \quad (11)$$

Известно, что установка такелажных средств является трудоемкой операцией. В то же время схема II позволяет осуществить самоподъем собранной на конструкции подпорки до исходного положения. Усилия при самоподъеме подпорки определяются уравнениями:

в подпорке
$$P_n = -g \frac{\sin \epsilon}{\cos(\epsilon + \varphi)} \quad (12)$$

в верхней подвеске
$$Y_n = -g \frac{\cos \varphi}{\cos(\epsilon + \varphi)} \quad (13)$$

где ϵ - угол, отсчитываемый между вертикалью и осью верхней подвески. Усилия в полиспадах определяются по приведенному выше уравнению (7).

При подъеме и установке конструкций на высокие фундаменты подъем ее основания на уровень фундамента и заводка его в поворотный шарнир осуществляются обычно с помощью дополнительных грузоподъемных средств. В этом отношении интерес представляет основанное на методе выжимания устройство для подъема на высокие фундаменты, разработанное автором и инженерами Ю.П.Телешевым и И.В.Шноором (авторское свидетельство № 254744 ;бюлл.изобр. № 32,1970г.).

Четвертая глава содержит результаты экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных и производственных условиях для проверки достоверности полученных уравнений и теоретических выводов, касающихся критических параметров кинематической схемы, характера изменения величины усилий во всех элементах оснастки. Кроме того, путем экспериментальных исследований проверялось действительное распределение нагрузок в парных элементах такелажной оснастки, наличие динамических явлений при подъеме.

Разработанная методика этих исследований включала выбор системы измерений усилий и углов подъема, мест и количества замеров этих

параметров, позволяющих получить объем данных, необходимых для всесторонней и полной оценки проверяемых теоретических выводов, а также конструирование испытательного стенда, моделирующего различные схемы.

Для лабораторных исследований была принята гидравлическая система силоизмерения с датчиками в виде стандартных тормозных цилиндров, позволяющая замерять усилия сжатия и, с использованием реверсивного приспособления, усилия растяжения. Систему тарировали с помощью образцового манометра ДОСМ-I на изготовленном для этой цели прессе и составляли тарировочные графики. Испытательный стенд позволял менять в широких пределах вес модели конструкции, расположение ее центра тяжести и все параметры кинематической схемы. Замер усилий производился в десяти характерных точках через каждые 5^0 изменения угла подъема модели конструкции.

В производственных условиях эксперименты производили при подъеме трех абсорбционных колонн высотой 46,4 м и весом 75 т. Замер усилий осуществляли гидравлическими динамометрами 2 класса с предельной нагрузкой 50 тс.

Экспериментальная проверка показала соответствие действительных и определенных аналитическим путем усилий. Расхождение сравниваемых данных не превышало 4,5%.

Экспериментами установлено, что несимметричность выполнения и крепления такелажной оснастки, смещение путей относительно плоскости подъема, смещение оси поворотного шарнира и неравномерное подтягивание одной из стоек подпорки вызывают перераспределение усилий в элементах оснастки, но не меняют величины суммарных усилий в ее парных элементах. Незначительные по величине динамические явления возникают, в основном, при переходе катков стоек через стыки рельсо.

В результате экспериментов рекомендовано применять в расчетах коэффициенты неравномерности $K_n=1,25$ и динамичности $K_d=1,05$.

Разработанная методика экспериментальных исследований и конструкция стенда могут быть рекомендованы для исследования других методов и схем подъемов, требующих сравнительно большого числа точек замеров усилий.

Глава пятая посвящена разработке методики определения максимальных усилий в элементах такелажной оснастки, выполняемых при проектировании подъемов методом выжимания.

В работе рассмотрено несколько методов расчета. Аналитический метод расчета основан на использовании уравнений, выведенных в результате теоретических исследований. Выбор расчетных величин усилий во всех элементах такелажной оснастки осуществляют по полученным при этом максимальным значениям.

Аналитический метод расчета рассматривается как наиболее точный и отличается тем, что непосредственно учитывает увеличение усилий в полиспадах в результате трения при перемещении подпорки. Он может быть использован при машинном счете. Кроме того, при применении других методов расчета требуется первоначальное аналитическое определение оптимальной длины подпорки.

Другой метод расчета предусматривает использование следующих разработанных номограмм:

- комплексной номограммы для определения кинематических изменений схемы;
- комплексной номограммы для определения усилий в подпорках и полиспадах и опорной реакции подпорки;
- номограммы для определения вспомогательной величины ϵ , необходимой для расчета усилий в элементах такелажной оснастки при самоподъеме подпорки.

Разработанные номограммы позволяют осуществить весь комплекс расчетов, включая самоподъем подпорки. Точность такого расчета оцени-

вается в пределах 5-6% по сравнению с аналитическим.

Для выполнения всего комплекса расчетов предложен также прибор (рис. 6), моделирующий различные схемы подъема методом выжимания (авт. свид. 284438; бюлл. изобр. № 32, 1970). По шкалам прибора можно определить размеры изменяющихся элементов схемы и величины усилий в подпорках, полиспадах и подвесках, а также опорную реакцию подпорки. Взаимное расположение указателей одной из совмещенных шкал позволяет судить о характере изменения усилий в подпорке и правильности выбора ее длины, а также применить минимальный коэффициент увеличения этой длины по сравнению с критической. Последнее имеет большое значение при подъеме особенно длинномерных конструкций, например, труб различного назначения. Прибор компактен и обладает шкалами, емкость которых достаточна для расчетов схем с широкими пределами изменения параметров, имеющими практическое значение. При смене подвижной части прибор может быть использован для расчетов подъемов другими методами, основанными на принципе поворота вокруг шарнира. Он может быть рекомендован для использования в проектных организациях.

В диссертации предложен также графический метод расчета и дана схема определения усилий на стадиях подъема, выполняемой с помощью торможения оттяжкой.

В шестой главе приведены данные по внедрению результатов исследований в практику монтажа. Всего за период с 1963 по 1970 г.г. под руководством и при непосредственном участии автора или с использованием разработанной им методики было осуществлено около 40 подъемов. В то время, как первые подъемы, относящиеся к 1963-64 г.г., послужили основой для постановки задачи исследования метода выжимания, производственное внедрение этого метода в последующие годы производилось с учетом его особенностей, выявленных исследованиями автора.

В числе конструкций, смонтированных методом выжимания, 20 ана-

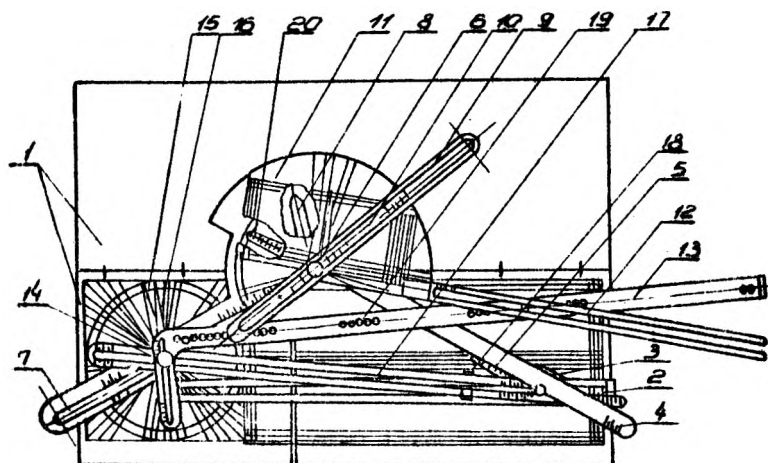


Рис. 6. Прибор для расчета кинематической схемы и определения усилий при подъемах выжиманием

1. Карта двустворчатая с осью I4, имитирующей поворотный шарнир A; 2. Линейка-имитатор рельсового основания; 3. Ползун; 4. Линейка-имитатор подпорки; 5. Стрелка-указатель усилий в подпорке; 6. Ось, имитирующая ось траверсы подпорки (B); 7. Подвижное основание с угловой шкалой; 8. Стрелка-указатель величины $\cos(\alpha + \beta)$; 9. Линейка-имитатор нижней подвески; 10. Указатель усилий в нижних подвесках; 11. Транспорт для определения усилий в подвесках; 12. Линейка-имитатор верхней подвески; 13. Линейка-имитатор продольной оси поднимаемой конструкции; 14. Стрелка-указатель величины α ; 15. Стрелка-указатель величины $(\alpha + \beta)$; 16. Стрелка-указатель величины α ; 17. Линейка-имитатор полиспастов; 18. Движок для отсчета усилий в полиспастах; 19. Указатель положения центра тяжести конструкции; 20. Стрелка-указатель величины $g \sin(\alpha + \beta + \gamma)$.

ратов колонного типа диаметром до 3 м, высотой до 47 м, весом до 100 т; 6 козловых кранов пролетом 32 м, высотой до 25 м, весом до 65 т; 2 вытяжные трубы высотой до 150 м, весом до 300 т и ряд других крупногабаритных конструкций.

В 1963–1964 г.г. на Навоийском химическом комбинате было поднято 5 аппаратов колонного типа с использованием схемы I метода выжимания. Для уменьшения усилий в такелажной оснастке на первом этапе подъема применялись вспомогательные подпорки. Подъемы характеризовались двустадийностью, большой металлоемкостью оснастки и необходимостью перестропки полиспастов под поднятой колонной. Установлено, что схема I становится более рациональной при монтаже конструкций большого поперечного сечения и относительно небольшой высоты. Так, при подъеме блоков металлоконструкций обслуживающих эшажеров размером в плане 6х7 м, высотой 36 м, весом 50 т усилия в полиспастах составляли 50 т.

Последующие подъемы 12 аналогичных аппаратов колонного типа были выполнены по схеме II, не имеющей этих недостатков. Снижение себестоимости монтажа одного аппарата по схеме II по сравнению с монтажом порталным подъемником по методу скольжения составило около 47% и трудоемкости монтажа – 37%.

Схема II с разветвленными подвесками была применена на Навоийском химическом комбинате при подъеме трубы высотой 150 м, весом 300 т без усиления ее каркаса, что необходимо при подъеме аналогичной трубы мачтами. Экономия по сравнению с вариантом монтажа наращиванием блоков составила 6,5 тыс.руб.

Характерно, что метод выжимания позволил вести одновременный монтаж всего оборудования типового производства слабой азотной кислоты в стесненных условиях, что значительно сократило сроки строительства.

Большое преимущество схемы II вылилось при монтаже трех труб высотой 55 м, весом 60 т на фундамент высотой 5 м на ламповом заводе в г. Майли-Саб в 1967-68 гг., осуществленном с самоподъемом подпорки и подъемом трубы из наклонного положения, при котором вершина располагалась ниже основания. Из-за отсутствия тяжелых кранов была с помощью простейшей оснастки по той же схеме поднята водонапорная башня снабженная обливкой и термозащитой.

Метод выжимания весьма эффективен при монтаже козловых кранов, так как наряду со снижением сроков и стоимости обеспечивает размещение монтажной оснастки в пределах проектного рельсового пути.

В зависимости от собственной жесткости ног крана использовались оригинальные варианты обеих схем этого метода. Собранный в горизонтальном положении козловой кран КК-303 был поднят с помощью двух подпорок, соединенных с нижним поясом моста. В качестве поворотного шарнира использовались опорные катки крана, в качестве направляющих для подпорок — проектный рельсовый путь. Примененная монтажная оснастка была простейшей конструкции и минимальных размеров. Пять кранов ККУ-10 с недостаточно жесткой конструкцией ног были смонтированы посредством подпорок, соединенных в верхнем шарнире и у основания — полиспастом, причем верхний шарнир подсоединили к мосту крана, полностью разгрузив его ноги. По сравнению с монтажом мачтами трудоемкость снизилась на 40%, себестоимость на 45%.

В работе показана возможность дальнейшего развития метода выжимания путем использования элементов монтируемых конструкций в качестве подпорок и более полного использования несущей способности конструкций при монтаже, путем дальнейшего совершенствования кинематических схем и оснастки.

Широкое производственное внедрение метода выжимания позволило установить его преимущества при монтаже в стесненных условиях, уста-

новые особо длинномерных конструкций, подъеме на высокие фундаменты, большую универсальность его использования, простоту, малогабаритность и инвентарность оснастки.

Технико-экономическая эффективность рассматриваемого метода подтверждена также обобщенным сравнением всех основных методов монтажа при наиболее характерном случае последовательной установки нескольких аппаратов колонного типа весом 300 т. В результате сравнения установлено, что метод выжимания обеспечивает наименьшую себестоимость (с учетом капитальных затрат) и наибольшую производительность труда.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведенный в диссертации анализ методов и схем монтажа, применяемых в отечественной и зарубежной практике для установки вертикальных аппаратов и конструкций, позволил разработать расширенную классификацию основных методов подъема и установить преимущества и перспективность метода выжимания, а также выявить необходимость его всестороннего исследования для дальнейшего прогресса в области монтажного производства.

2. Аналитические исследования кинематических схем процесса выжимания, проведенные с учетом возможных широких пределов изменения их параметров, позволили выявить его особенности, найти математическое выражение параметров и обосновать методику определения критических значений параметров.

3. Аналитические исследования изменения усилий в элементах такелажной оснастки в процессе подъема позволили установить характер этих изменений и его зависимость от различных параметров схемы, выявить оптимальные параметры схем I и II метода выжимания и произвести сравнение этих схем.

4. На основании сравнения установлено, что схема II позволяет за счет снижения усилий в такелажной оснастке осуществить подъем конструкций весом в 2-3 раза больше, чем схема I, и обеспечить оптимальное распределение монтажных нагрузок, приблизив их по величине к эксплуатационным.

5. Аналитическими исследованиями обоснованы также возможность предварительного подъема основания конструкции на высокий фундамент с помощью основной такелажной оснастки (авт.свид. 254744; бнхл. изобр. № 32, 1970г.) и самоподъема подпорки в исходное положение при монтаже по схеме II.

6. Разработана методика экспериментальных исследований в лабора-

торных условиях на стенде с использованием гидравлического силоизмерения, моделирующего кинематическую схему в принятых широких пределах изменения параметров, а также методика экспериментальных исследований в производственных условиях, использованная на трех подъемах. В результате выявлено совпадение аналитически и фактически полученных данных, обоснованы рекомендуемые значения коэффициента динамичности и коэффициента неравномерности распределения усилий в парных элементах такелажной оснастки.

7. Разработана общая методика и предложено несколько способов расчета кинематических схем и определения максимальных усилий в элементах такелажной оснастки, предназначенных для использования при проектировании подъема конструкций методом выжимания. Разработан комплекс номограмм, а также прибор (авт. свид. 284438; обл. изобр. № 2, 1970), рекомендуемый для организаций, проектирующих производство монтажных работ.

8. Осуществлено широкое внедрение метода выжимания при подъемах различных конструкций высотой от 20 до 150 м и весом от 20 до 300 т.

Под руководством и при непосредственном участии автора или с применением разработанной им методики выполнено около 40 подъемов, в том числе основные: на химическом комбинате и базе стройиндустрии в г. Навои - 2 вытяжные трубы высотой 100 и 150 м, весом 100 и 300 т; 17 технологических аппаратов диаметром 3 м, высотой 46 м и весом от 75 до 100 т; блоки металлоконструкций обслуживающих эстакад сечением 6х7 м, высотой 36 м; 6 козловых кранов различной конструкции пролетом 32 м, высотой моста 25 м и весом до 70 т; на ламповом заводе в г. Майли-Сай - 3 дымовых трубы высотой 55 м, весом 61 т на фундаментах высотой 5 м.

9. Проведенное всестороннее исследование и широкое внедрение показали, что схема II метода выжимания обеспечивает дальнейшее разви-

рение области применения монтажа полностью собранных конструкций и характеризуется следующим:

- возможностью распределения монтажных усилий по длине конструкций, снижения нагрузки на отдельные узлы и осуществления подъема конструкций со сравнительно небольшой собственной жесткостью;

- размещением такелажной оснастки в пределах площадки сборки конструкции перед подъемом, отсутствием расчалок для крепления оснастки и возможностью осуществления подъема конструкции в стесненных условиях;

- применением такелажной оснастки минимальной высоты;

- возможностью самоподъема такелажной оснастки в исходное для подъема конструкции положение;

- универсальностью оснастки, позволяющей осуществить подъемы различных конструкций, и возможностью использования стандартных мачт в качестве подпорок;

- отсутствием горизонтальных усилий, воздействующих на фундамент;

- возможностью установки конструкций на высокие фундаменты с предварительным подъемом их основания основной такелажной оснасткой и дальнейшим монтажом конструкции из наклонного положения;

- расположением грузовых полиспастов, удобном для контроля их работы.

10. Установлено, что при внедрении метода выжимания себестоимость монтажных работ снижалась по сравнению с подъемом опаренными мачтами до 45%, а производительность труда повышалась до 40%.

Обобщенный анализ технико-экономической эффективности, выполненный сравнением основных методов монтажа для характерного случая последовательной установки нескольких аппаратов колонного типа весом 300 т, позволил установить, что метод выжимания обеспечивает наимень-

ную себестоимость и наибольшую производительность труда.

II. На основе аналитических и экспериментальных исследований и внедрения метода в производственных условиях разработаны "Рекомендации по подъему технологического оборудования и конструкций способом выжимания", изданные в 1970 г.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. В.К.Бодик "Методика определения усилий в элементах оснастки при монтаже крупногабаритных конструкций и аппаратов выжиманием подпорками".НИКИМТ,1967 год.

2. В.К.Бодик,И.В.Шноор "Монтаж колонны синтеза". Журнал "Монтажные и специальные работы в строительстве", № 2,1968 год.

3. В.К.Бодик,И.В.Шноор и Ю.П.Телешев "Устройство для подъема на высокий фундамент длинномерных конструкций". Авторское свидетельство № 254744.Бюллетень "Открытия,изобретения,промышленные образцы,товарные знаки",№ 32,1969 год.

4. В.К.Бодик "Устройство для определения усилий в тележной оснастке грузовой подпорки".Авторское свидетельство № 284438;бюллетень "Открытия,изобретения,промышленные образцы,товарные знаки",№ 32,1970 год.

5. "Рекомендации по подъему технологического оборудования и конструкций способом выжимания".ВНИИМонтажспецстрой, НИКИМТ. ЦБТИ Минмонтажспецстрой,Москва,1970 год.

6. В.К.Бодик "Организация и технология подъемов вертикальных конструкций методом выжимания".Сборник "Технология монтажных работ",выпуск 3,1970 год,НИКИМТ,Москва.

Результаты диссертации доложены на:

1. Республиканском совещании по совершенствованию работы ремонтных служб предприятий Управления химической промышленности Узбекской ССР.Навои,январь 1967 года.

2. Заседании секции монтажа технологического оборудования Научно-технического совета Минмонтажспецстрой СССР. Москва,ноябрь 1967 года.

Л-44761
10/М-71г.

Тираж 150 экз.
Печатных листов 1,2

НИКИИТ
Заказ №92