

УДК 621.875

**Ю.Б. ГУСЕВ**, гл. конструктор ОАО “Головной специализированный конструкторско-технологический институт”, г. Мариуполь,  
**А.Ю. ТАНЧЕНКО**, асп. каф. ТММиСАПР, НТУ „ХПИ”

## **К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ И МЕТОДАХ РАСЧЕТА ГРЕЙФЕРНЫХ ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ МОСТОВОГО ТИПА**

У статті розглянуто проблему класифікації та синтезу великогабаритних конструкцій типу „перевантажувач”. Наведено методику розрахунку та врахування діючих на кран навантажень. Надано рекомендації щодо підходу у проектуванні подібних конструкцій.

In the paper the problem of classification and synthesis of large-size constructions such as „loader” is considered. The method of calculation and account of loadings which are operating on a crane is resulted. Recommendations are given in relation to approach in design of similar constructions.

**Введение.** В настоящее время при проектировании высоконагруженных крупногабаритных машин, производимых малыми сериями или единично под соответствующий заказ, возникает множество проблем, связанных с обоснованием их конструктивных решений и конструктивно-технологических параметров. Это связано, прежде всего, с самой спецификой этих машин: будучи уникальными объектами, они не могут быть охвачены методиками расчета, традиционными для деталей машин массового производства. С другой стороны, для этих машин трудно получить эмпирические расчетные зависимости, поскольку для этого, как правило, отсутствует статистическая база наблюдений. Что же касается экспериментальных исследований, то их стоимость и длительность высоки, что делает их проведение неоправданным на этапе проектных работ.

Указанные выше обстоятельства вынуждают исследователей напряженно-деформированного состояния (НДС) силовых элементов проектируемых высоконагруженных крупногабаритных машин, которое в основном определяет их несущую способность и долговечность, обратиться к общим расчетным методам его определения. Поскольку силовые элементы таких машин, как правило, представляют собой сложные пространственные конструкции под действием сложной системы сил и граничных условий, то для формирования системы разрешающих уравнений необходимо обратиться к основным соотношениям механики сплошной среды [1-4]. Для отдельных групп тяжело нагруженных крупногабаритных машин, являющихся представителями того или иного типа машин, представляется целесообразным применить с соответствующими изменениями методы расчета, сложившиеся на протяжении десятилетий [5]. Различные области применения перегружателей и широкой диапазон их основных характеристик предопределил значительное разнообразие схем и конструкций перегружателей. Ниже приведен обзор конструкций перегружателей и методов их расчета.

**1. Общая классификация перегружателей.** Перегружатели классифицируют: по области применения или виду обслуживаемого производства и схеме установки в грузовом потоке (технологическом процессе); по конструктивному признаку. Рассматриваемые машины обслуживают сложные технологические процессы в металлургической, химической и энергетической промышленности, а также грузовые потоки в морских и речных портах. В той или иной степени они оказываются жестко встроенными в общий технологический поток и вместе с конвейерами складов образуют систему машин, поэтому от работы перегружателей зависит эффективность всего производства.

Характер основного производства и условия эксплуатации учитываются при проектировании перегружателей и определенным образом влияют на их конструкцию. Наиболее широко перегружатели применяют на рудных дворах металлургических заводов, вследствие чего их называют рудными. Схема грузового потока на рудном дворе и характер использования такого перегружателя зависят от вида оборудования (дворы с вагоноопрокидывателями или разгрузочными эстакадами), мощности доменного цеха. С помощью перегружателей в портах металлургических заводов разгружают морские суда, доставляющие руду, агломерат и другие материалы.

Классификация перегружателей по конструктивным признакам показана на рис. 1. Как видно из схемы, перегружатели классифицируются по типам металлургических конструкций, по типам (видам) грузозахватных и разгрузочных устройств, а также по типам механизмов передвижения. По конструктивным схемам металлоконструкций различают перегружатели с жесткой и шарнирной системой. Перегружатели жесткой системы характеризуются пространственно жесткой металлоконструкцией, исключающей смещение опор в горизонтальной плоскости. У перегружателей шарнирной системы одна из опор жесткая, другая шарнирная. Шарнирная опора позволяет компенсировать температурные деформации моста и его перекося. Перегружатели можно разделить также

по числу грейферных тележек на однотолежечные и двухтолежечные.



Рис. 1. Классификация перегружателей

**2. Область применения перегружателей.** Перегружатели для доменных цехов металлургических заводов. На складах рудных материалов доменных цехов не только хранят материалы, но и смешивают их с целью усреднения. Эту работу выполняют перегружатели. В доменных цехах металлургических заводов перегружатели устанавливают на складе руды и шихтовых материалов (рис. 2), если материалы

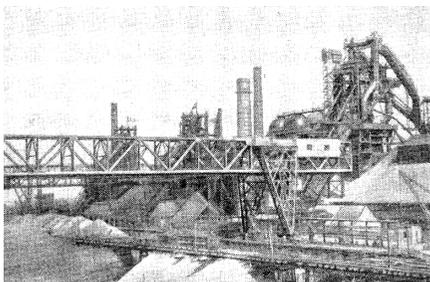


Рис. 2. Перегружатель, установленный на складе руды и шихтовых материалов

доставляются поездом, или в заводской гавани, если руда и агломерат поступают водным путем. При поездной доставке материалов рудный двор может оборудоваться вагоноопрокидывателями или разгрузочными эстакадами с траншеями. При первой схеме (рис. 3) вагоны с рудой разгружаются вагоноопрокидывателем, и руда заполняет рудную траншею. При разгрузке железнодорожных вагонов на эстакаде у гибкой опоры (рис. 4) перегружатель транспортирует материалы в основную штабель. Здесь часть мате-

риалов поступает в бункера непосредственно из вагонов.

На рис. 3 показан перегружатель фирмы Блейхерт (ГДР) производительностью 400 т/ч, массой 1200 т. С помощью перегружателя, оборудованного грейферной тележкой, руду укладывают в штабель 5, из которого она перегружателем подается в передаточный вагон. Последний развозит руду по бункерам. Из бункеров шихтовые материалы поступают на вагон-весы и далее на скиповый подъемник. Для направления материалов в вагоны перегружатели оборудуются стационарными и передвижными направляющими воронками.

На рис. 4 показан перегружатель фирмы Блейхерт (ГДР) производительностью 500 т/ч и массой 1175 т. Руда и агломерат, доставляемые самоходными баржами, разгружаются в заводских портах. Для этого используют перегружатели, оборудованные грейферной тележкой (или тележками), перемещающейся по нижнему поясу моста, или перегружатели со стреловым грейферным краном, передвигающимся по верхнему поясу моста, и встроенным ленточным конвейером (рис. 5). Грейферный кран 1 погружает руду в передвижной бункер 2, откуда она через пластинчатый питатель 3 и лоток 4 - ленточный конвейер, 7,8 - распределительные устройства для погрузки руды в вагоны

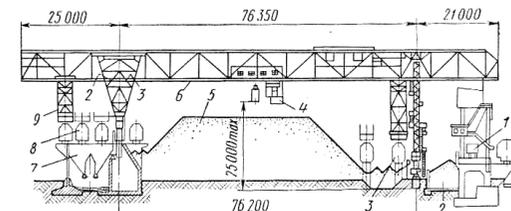


Рис. 3. Схема перегружателя фирмы Блейхерт установленного на рудном дворе (производительность 400 т/ч, масса 1200 т):

1 - вагоноопрокидыватель с боковым опрокидыванием вагонов; 2 - рудная траншея; 3 - загружаемые вагоны; 4 - грейферная тележка перегружателя; 5 - штабель руды; 6 - перегружатель грузоподъемностью 30 т; 7 - бункера; 8 - передаточный вагон; 9 - разгрузочная воронка перегружателя

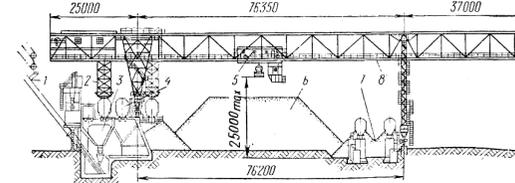


Рис. 4. Схема перегружателя, установленного в доменном цехе с эстакадной разгрузкой вагонов (производительность 500 т/ч, масса 1175 т):

1 - скиповый подъемник; 2 - разгрузочная воронка перегружателя; 3 - бункера; 4 - передаточные вагоны и вагоны непосредственной подачи руды в бункера; 5 - грейферная тележка; 6 - штабель руды; 7 - рудная траншея; 8 - перегружатель грузоподъемностью 30 т

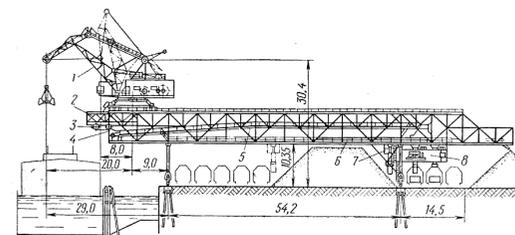


Рис. 5. Перегружатель со стреловым грейферным краном и встроенными ленточными конвейерами, установленный в заводской гавани металлургического завода:

1 - грейферный кран, 2 - передвижной бункер, 3 - пластинчатый питатель, 4 - лоток, 5 - ленточный конвейер, 7,8 - распределительные устройства для погрузки руды в вагоны

поступает на ленточный конвейер 5. На консолях перегружателя имеются распределительные устройства 7, 8 для погрузки руды в вагоны. При погрузке руды в штабеля пользуются нижним конвейером 6 и разгрузочными тележками.

*Перегружатели, используемые на коксохимических и газовых заводах.* На рис. 6 показана схема установки перегружателя фирмы Блейхерт на складе

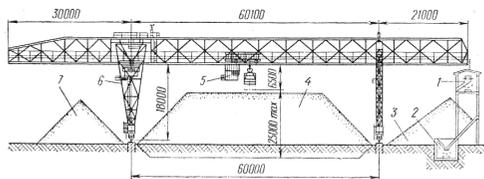


Рис. 6. Схема установки перегружателя на складе угля газового завода (производительность 330 т/ч, масса 510 т): 1 - верхняя галерея ленточного конвейера; 2 - бункер и ленточный конвейер; 3, 4, 7 - штабеля угля; 5 - грейферная тележка; 6 - перегружатель грузоподъемностью 16 т

траншее под первичным штабелем. Если на угольном складе коксохимического завода устанавливается перегружатель со стреловым грейферным краном и встроенным ленточным конвейером, то при работе перегружателя могут использоваться элементы автоматики. Движения телескопической и разгрузочных тележек перегружателя ограничены и фиксируются конечными выключателями.

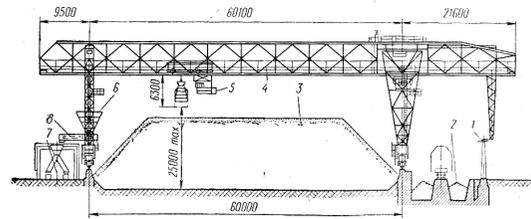


Рис. 7. Схема перегружателя фирмы Блейхерт на складе угля тепловой электростанции: 1 - токоприемное устройство перегружателя; 2 - разгрузочная траншея; 3 - штабель угля; 4 - перегружатель грузоподъемностью 15 т; 5 - грейферная тележка; 6 - приемный бункер; 7 - ленточные конвейеры; 8 - питатель

грейферной тележкой, которая подает его в люки ленточного конвейера, пролегающего вдоль склада. Производительность перегружателя фирмы Блейхерт, показанного на рис. 7, 250 т/ч, масса 508 т.

*Перегружатели для морских портов.* В морских портах перегружатели используют на разгрузочно-погрузочных операциях с рудой, углем и другими

сыпучими грузами. Схема перегружателя, выпускаемого фирмой Исикавадзима-Харима, показана на рис. 8. Суда разгружаются стреловым поворотным краном с шарнирно-сочлененной укосиной.

Для лучшего обзора кабина в опору моста со стороны моря встроен поворотным краном с шарнирно-сочлененной укосиной. Суды разгружаются стреловым поворотным краном с шарнирно-сочлененной укосиной. Для лучшего обзора кабина в опору моста со стороны моря встроен поворотным краном с шарнирно-сочлененной укосиной. Суды разгружаются стреловым поворотным краном с шарнирно-сочлененной укосиной. Для лучшего обзора кабина в опору моста со стороны моря встроен поворотным краном с шарнирно-сочлененной укосиной.

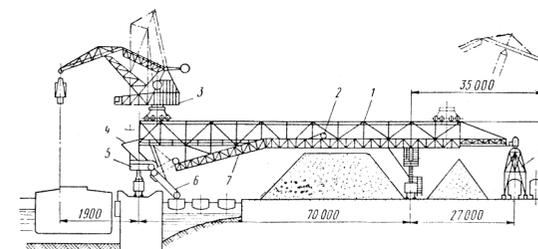


Рис. 8. Перегружатель со стреловым грейферным краном и встроенными ленточными конвейерами, установленный в морском порту: 1 - мост; 2 - барабанная сбрасывающая тележка ленточного конвейера; 3 - стреловой грейферный кран; 4 - бункер; 5 - питатель; 6, 7 - конвейеры; 8 - самоходный бункер

### 3. Перегружатели с одной грейферной тележкой нормального исполнения.

Под грейферной тележкой нормального исполнения имеется в виду крановая тележка с расположенными на ней механизмами подъема и замыкания грейфера с механизмом передвижения, не имеющая поворотной стрелы. Перегружатели с одной грейферной тележкой, перемещающейся по нижнему поясу моста, являются наиболее распространенным видом перегружателей, а их конструктивная схема - типичной. Перегружатели с грейферной тележкой нормального исполнения широко применяются на металлургических и коксохимических заводах, угольных складах ТЭЦ, портах.

Перегружатель такого типа МПЗО-76,2 конструкции СКМЗ показан на рис. 9. Он предназначен для обслуживания склада руды доменного цеха. Металлоконструкция перегружателя состоит из моста с двумя консолями, жесткой опоры и гибкой опоры. Мост выполнен в виде двух ферм. Каждая ферма состоит из верхнего и нижнего поясов, раскосов, стоек и подвесок Н-образного сечения. В плоскости каждой стойки и

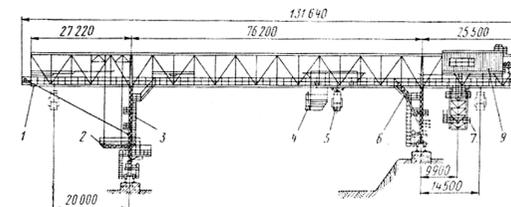


Рис. 9. Перегружатель конструкции СКМЗ с грейферной тележкой нормального исполнения грузоподъемностью 30 т: 1 - мост с консолями, 2 - неподвижная направляющая воронка с питателем, 3 - гибкая опора, 4 - грейферная тележка, 5 - грейфер короткозвенного типа, 6 - жесткая опора, 7 - передвижная направляющая воронка, 8 - ремонтный кран, 9 - ремонтное помещение

подвески располагаются поперечные рамы, на консолях которых крепятся ездовые балки для грейферной тележки. Балки имеют двуглавное сечение. По концам ездовых балок расположены пружинные буфера. Верхние пояса ферм соединяются горизонтальными связями. Консоли моста имеют строительный подъем, пролетная часть моста выполнена без строительного подъема, так как суммарный прогиб ее под действием вертикальных нагрузок не превышает допустимый (1/700 пролета). Жесткая и гибкая опоры различной длины выполнены в виде рам со стяжкой для восприятия нагрузок, действующих вдоль оси моста. В горизонтальной плоскости жесткая опора соединена с мостом подкосами. Гибкая опора соединяется с мостом неподвижно. Изменение длины моста под действием температурных колебаний, а также перекося моста (забегание опор) компенсируются гибкостью конструкции опоры. На консоли жесткой опоры расположено ремонтное помещение с ремонтным краном. На этой же консоли подвешена передвижная направляющая воронка. На консоли гибкой опоры предусмотрена неподвижная направляющая воронка с питателем. Механизм передвижения перегружателя состоит из четырех ходовых балансирных агрегатов, включающих главные и малые балансиры, редукторы и двигатели. Каждый главный балансир при помощи шаровой опоры связан с двумя малыми балансирами, имеющими по четыре ходовых колеса, два из которых приводные. Высота опор разная. Жесткая опора на 8,5 м короче гибкой. Каждая опора передвигается по двум рельсам и имеет по 16 ходовых колес, половина которых приводные. Угон перегружателя предотвращается устройствами, смонтированными в стяжки опор. Грейферная тележка, перемещающаяся по нижнему поясу ферм моста, имеет самостоятельные одинаковые по конструкции механизмы подъема и замыкания грейфера. Каждый механизм включает барабан, редуктор, электродвигатель постоянного тока и два тормоза. Между собой механизмы кинематически не связаны. Они установлены на общей раме, опирающейся через пружинные амортизаторы на буксы ходовых колес. Тележка перемещается на четырех приводных колесах. Электрический ток поступает к тележке по жестким троллеям, расположенным вдоль моста. На кабине управления тележки установлен механизм захвата

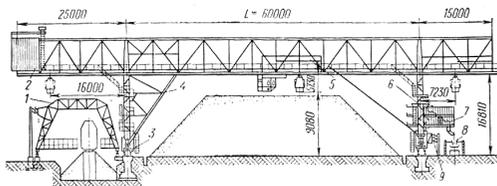


Рис. 10. Перегрузатель конструкции СКМЗ грузоподъемностью 25 т:

- 1 – тележка для разгрузки вагонов, 2 – мост с двумя консолями, 3 – механизм передвижения моста,
- 4 – жесткая опора, 5 – грейферная тележка, 6 – гибкая опора, 7 – питатель, 8 – стационарный конвейер,
- 9 – подача напряжения

и передвижения направляющей воронки. Машинист управляет всеми механизмами перегружателя из кабины управления.

На рис. 10 показана конструктивная схема перегружателя типа МП 25-60, предназначенного для обслуживания складов угля тепловых электростанций. Перегрузатель имеет мост 2 с двумя консолями, жесткую

Механизм передвижения моста 3 и противоугонные устройства унифицированы с указанным выше перегружателем. В гибкую опору 6 встроены бункер и питатель 7, направляющие уголь на стационарный конвейер 8. Устройство грейферной тележки 5 и грейферной тележки грузоподъемностью 30 т аналогично. В качестве приводов механизмов перегружателя, в том числе механизмов подъема и замыкания грейфера и передвижения тележки, применяются двигатели переменного тока. Напряжение подается к перегружателю при помощи колонок с башмаками 9, установленными вдоль склада, и токосъемников в виде лыж, закрепленных на гибкой опоре.

Уголь поступает на склад в железнодорожных вагонах под консоль жесткой опоры перегружателя. При помощи тележки 1, перемещающейся вдоль состава, люки вагонов открываются, и уголь разгружается в траншею. Из траншеи уголь подается грейферной тележкой на склад в пролете моста. Со склада уголь выдается грейферной тележкой через питатель, предусмотренный в гибкой опоре.

Однотележечный перегружатель большой грузоподъемности (40 т) конструкции СКМЗ показан на рис. 11. Перегрузатель предназначен обслуживать склад угля крупных теплоэлектростанций. Габаритные размеры перегружателя, конструкция моста 2, жесткой 1 и гибкой 3 опор приняты такими же, как

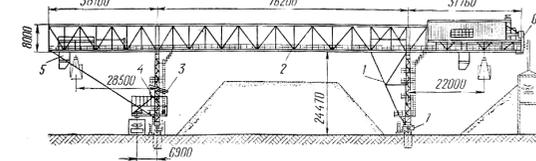


Рис. 11. Перегрузатель конструкции СКМЗ грузоподъемностью 40 т:

- 1 – жесткая опора, 2 – мост, 3 – гибкая опора,
- 4 – ленточный питатель, 5 – грейферная тележка,
- 6 – токосъемники, 7 – механизм передвижения моста

для перегружателей нормального ряда грузоподъемностью 30 т. В гибкую опору встроены бункер с ленточным питателем 4. Механизм передвижения моста 7 приводится в движение электродвигателями переменного тока (рольгангового типа). Такие электродвигатели в значительной степени снижают нагрузку на опоры при перекосах в горизонтальной плоскости. Конструктивные схемы грейферной тележки 5 и грейферной тележки грузоподъемностью 30 т аналогичны. Характерной особенностью рассматриваемой конструкции тележки и перегружателя является установка преобразовательного агрегата системы Г-Д на стяжке жесткой опоры в специальном помещении, что позволило повысить грузоподъемность грейферной тележки от 30 т до 40 т без увеличения ее массы, и соответственно увеличить производительность перегружателя. Другой особенностью является применение командоконтроллера с дифференциальным редуктором, связывающим механизмы подъема и замыкания грейфера. В результате этого грейферная тележка может работать в автоматическом режиме при приемке угля на склад с первичного штабеля, образованного под консолью жесткой опоры, а также выдавать уголь со склада в производство через питатель на конвейер склада. Перегрузатель питается током высокого напряжения (6000 В) через токосъемники 6, установленные

на консоли жесткой опоры. Трансформатор, расположенный в ремонтном помещении, снижает напряжение до 380 В. Применение тока высокого напряжения позволяет получить экономию благодаря снижению затрат на строительстве коммуникаций энергоносителей.

Решетчатые конструкции перегружателей отличаются высокой жесткостью, однако они имеют большую массу и сложны для изготовления. Поэтому в последнее время появились перегружатели с мостами трубчато-балочной конструкции.

Весьма оригинальны перегружатели, изготовленные заводом „Сибтяжмаш” (рис. 12). Мост перегружателя 2 и опоры 1 выполнены из труб. Мост состоит из отдельных секций (блоков). Диаметр трубы моста 2900 мм, толщина стенки отдельных секций изменяется по длине моста, чем достигается максимальное использование металла, а, следовательно, и снижение его массы. Опоры моста одинаковы по конструкции. Они выполнены из труб нормального сортамента и жестко соединены с мостом. На одной из консолей моста размещено ремонтное помещение 4. У грейферной тележки 3 четыре приводных ходовых колеса, каждое с самостоятельным приводом. Тележка передвигается по балкам, консольно соединенным с мостом. Механизмы подъема и замыкания грейфера одинаковы по конструкции и имеют отдельный привод. Управление механизмами тележки осуществляется по системе Г-Д. Агрегаты системы Г-Д располагаются в ремонтном помещении. Питание к грейферной тележке подводится при помощи жестких троллеев. Управление механизмами перегружателя производится из кабины управления грейферной тележкой. Перегружатель допускает некоторый перекос в плане благодаря гибкости всей системы металлоконструкций. Ограничители перекоса расположены в трубчатых элементах опор. Преимуществом рассматриваемого перегружателя является трубчатая конструкция моста и опор, которые проще в изготовлении, монтаже и эксплуатации (меньше стыковых узлов, больше стойкость к коррозии, меньше затраты на окраску и др.), чем решетчатые. Кроме того, перегружатель воспринимает меньшие ветровые нагрузки вследствие меньшей наветренной площади. Однако перегружатели этой конструкции имеют недостаточную ремонтную технологичность.

Схема однотолежечного перегружателя конструкции завода ВТА показана на рис. 13. Мост 2 перегружателя опирается на жесткую 4 и шарнирную 1 опоры (последняя соединена с мостом шарниром). На консоли со стороны жесткой опоры расположены ремонтное помещение 5 и ремонтный кран 6. Мост перегружа-

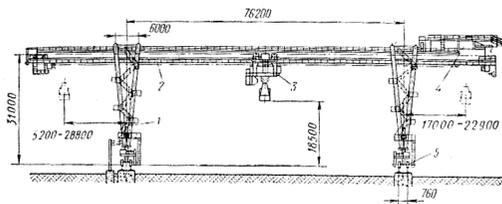


Рис. 12. Перегружатель завода „Сибтяжмаш” грузоподъемностью 32 т:  
1 – жесткая опора, 2 – мост, 3 – грейферная тележка,  
4 – бункер с ленточным питателем, 5 – механизм передвижения перегружателя

теля выполнен из двух коробчатых балок, по верхнему поясу которых передвигается грейферная тележка 3. Мост усилен шпренгельной системой. Преимущество такой конструкции в ее технологичности: значительно уменьшено количество деталей, что облегчает монтаж и эксплуатацию.

#### 4. Перегружатели с двумя грейферными тележками нормального исполнения.

С целью повышения производительности перегружателей на них иногда устанавливают две тележки, передвигающиеся по параллельным путям. Типичный перегружатель такой конструкции показан на рис. 14. Он предназначен для транспортных операций на рудных дворах доменных цехов металлургических заводов, расположенных на берегу залива или реки, и является наиболее мощным. Материал транспортируется двумя грейферными тележками 3. Каждая тележка перемещается вдоль моста по собственному рельсовому пути. Мост перегружателя 2 опирается на две опоры, одна из которых (5) соединена с мостом жестко, другая (8) шарнирно. Со стороны жесткой опоры мост имеет нависающую над водой консоль, позволяющую грейферным тележкам разгружать руду непосредственно из морских судов 1. Со стороны шарнирной опоры также предусмотрена консоль, на которой подвешены две направляющие воронки 6, 7. Через эти воронки загружают железнодорожные вагоны, находящиеся на бункерной эстакаде. Для предотвращения угона перегружатель снабжен специальными устройствами, размещенными на стяжках обеих опор моста. Над жесткой опорой, в верхней части моста, установлен кран 4 мостового типа для обслуживания грейферных тележек во время их ремонта. Мост перегружателя состоит из ферм, выполненных в виде треугольной решетки с дополнительными стойками. Главные фермы моста в плоскости каждой стойки связаны поперечными рамами, к нижней части которых крепятся ездовые балки грейферных тележек. С жесткой опорой мост склепан и представляет собой единое целое. На шарнирной опоре мост свободно лежит на двух опорных катках; сама опора соединена с поперечной рамой моста центральным шкворнем – поворотной осью, закрепленной

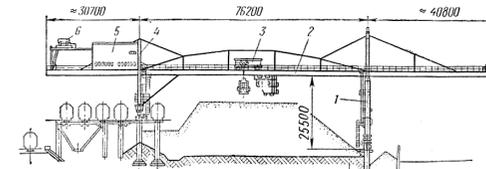


Рис. 13. Перегружатель конструкции завода ВТА (ГДР):  
1 – шарнирная опора, 2 – мост, 3 – грейферная тележка, 4 – жесткая опора, 5 – ремонтное помещение, 6 – ремонтный кран

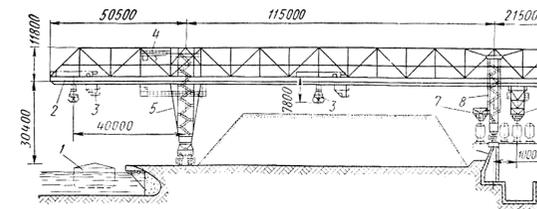


Рис. 14. Перегружатель конструкции СКМЗ с двумя грейферными тележками грузоподъемностью 30 т каждая:

- 1 – объект разгрузки, 2 – мост с двумя консолями,
- 3 – грейферные тележки, 4 – ремонтный кран,
- 5 – жесткая опора, 6, 7 – направляющие воронки,
- 8 – гибкая опора

в сферическом подшипнике. Такое соединение моста с шарнирной опорой, а также роликное устройство, расположенное под жесткой опорой, допускают свободный перекося моста в плане. Основные элементы и монтажные стыки металлоконструкций клепаемые. Наиболее нагруженные элементы выполнены из низколегированной стали. На перегружателе установлены две грейферные тележки грузоподъемностью 30 т каждая. Конструкция тележек типовая, принятая для перегружателей с пролетом 76,2 м. Грейферные тележки снабжены грейферами для руды емкостью 6 м<sup>3</sup> и грейферами для агломерата емкостью 11 м<sup>3</sup>. Свободный проход грейферов через люки в трюм рудовозов обеспечивается раскрытием челюстей грейфера вдоль оси моста. Грузоподъемность двухтележечных перегружателей, изготовляемых в ГДР, 5 т и 15 т, пролеты, соответственно, 40 и 60 м.

**5. Виды металлоконструкций перегружателей.** В современных конструкциях перегружателей на металлоконструкцию приходится около 65%, а на механизмы и электрооборудование соответственно 30% и 5% общей массы. Основные размеры (пролет, высота, длины консолей, подмостовой габарит и т. п.) перегружателей определяются условиями их эксплуатации. Металлоконструкция перегружателя состоит из моста и двух опор, одна из которых жесткая, другая – гибкая или шарнирная. Жесткая опора воспринимает и передает на рельсы крановых путей вертикальные реакции, а также реакции от продольных и поперечных горизонтальных нагрузок. Гибкая опора предназначена для того, чтобы воспринимать и передавать на крановые пути вертикальные нагрузки, а также горизонтальные нагрузки, действующие поперек перегружателя. При одинаковой жесткости опор нагрузки, действующие вдоль моста, распределяются между обеими опорами поровну.

Мост представляет собой пространственную конструкцию замкнутого или незамкнутого типа. Опоры перегружателя в зависимости от типа перегружателя выполняются в виде плоских или пространственных конструкций высотой 15-25 м. Опорные узлы их соединяются стяжками и прикрепляются к балансирным тележкам механизма передвижения. Стяжки используют для установки автоматических и ручных противоугонных захватов, а также для расположения на них электрооборудования. Классификация перегружателей по типам металлоконструкций приведена на рис. 15.

В зависимости от типа грейферной тележки различают металлоконструкции перегружателей: с ездой по низу с грейферной тележкой нормального (опорного) типа, расположенной в пределах внутренних габаритов моста (или подвесного типа, устанавливаемой снаружи моста), с ездой поверху с двухконсольной грейферной тележкой опорного типа (или с поворотным грейферным краном), с угловой грейферной тележкой. Схемы металлоконструкций перегружателей в зависимости от типа соединения моста с опорами показаны на рис. 16.

*Металлоконструкции перегружателей с центральным приводом и жестким сопряжением моста с опорами* (рис. 16, а). В металлоконструкциях этих перегружателей мост склепывается с жесткой опорой 5, представляющей собой вертикальную плоскую сквозную раму с затяжкой, связанную подкото-

сами с узлами главных ферм. Шарнирная опора 4, также представляющая собой вертикальную плоскую раму, сочленяется с мостом шарнирами 6. Цен-

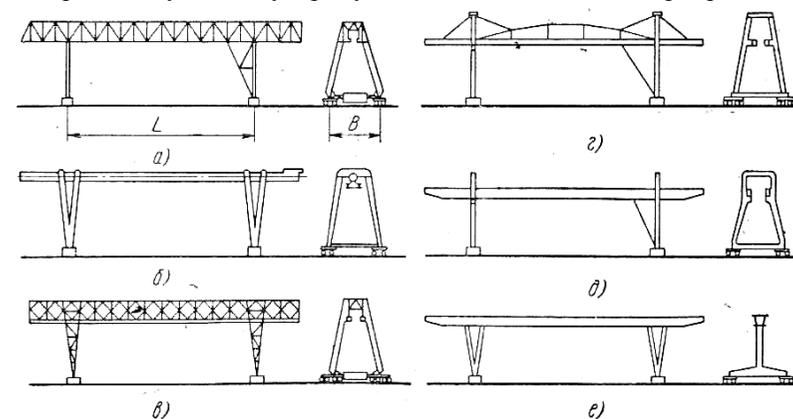


Рис. 15. Классификация перегружателей по типам металлоконструкций: а - решетчатая; б - трубчато-балочная; в - комбинированная решетчатая; г - комбинированная шпренгельная; д - коробчато-балочная двухбалочная; е - коробчато-балочная однобалочная

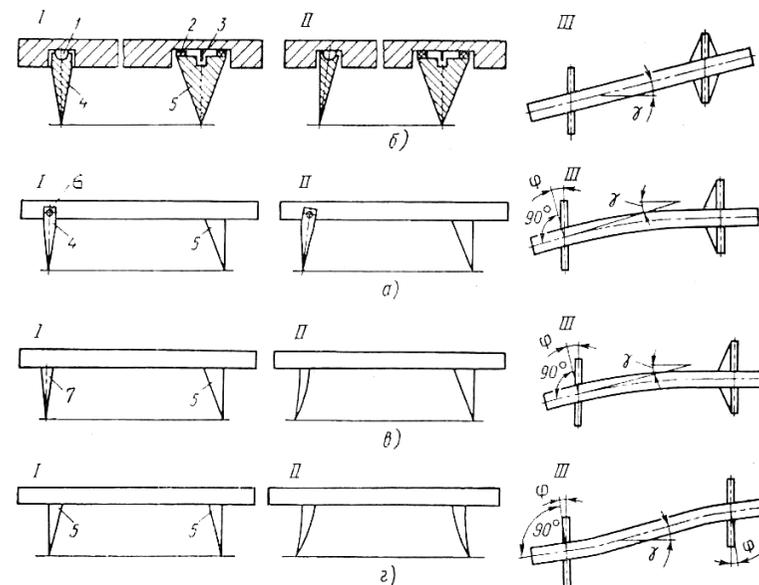


Рис. 16. Схемы металлоконструкций перегружателей:

а – с центральным приводом и жестким сопряжением моста с опорой; б – с подвижно-шарнирным соединением моста с опорами; в – с раздельным приводом и жестким сопряжением моста с опорами; г – жесткой системы трубчато-балочной, конструкции с опорами равной жесткости; I – схема перегружателя; II, III – взаимное положение моста и опор соответственно при продольной деформации моста и при перекосе (вид в плане); 1 – шаровой шарнир (линза); 2 – опорная плита (скользун); 3 – направляющий штырь (шкворень); 4 – шарнирная опора; 5 – жесткая опора; 6 – цилиндрический шарнир; 7 – гибкая опора;

$\gamma$  – максимальный угол перекоса моста;  $\varphi$  – угол закручивания опоры

тральный привод, расположенный в средней части моста, позволяет уменьшить забегание опор перегружателя при его передвижении, однако из-за громоздкости в современных конструкциях перегружателей он не применяется.

*Металлоконструкции перегружателей с подвижно-шарнирным соединением моста с опорами* (рис. 16, б). Мост этой системы перегружателей опирается в четырех точках на ригель пространственной жесткой опоры 5 посредством опорных плит 2 и шарнирно соединяется с ней по оси моста вертикальным шкворнем 3. Сопряжение с шарнирной опорой 4 осуществляется через опорную линзу 1 в одной точке, расположенной по оси моста. Подобная система опирания обеспечивает поворот жесткой опоры и моста вокруг оси вертикального шкворня. Жесткая опора представляет собой две плоские наклонные двухшарнирные рамы, соединенные системой фасадных и горизонтальных связей в пирамидальную пространственную конструкцию. Верхняя часть жесткой опоры состоит из нескольких продольных и поперечных ферм или сплошнотенчатых балок, имеющих в уровнях верхнего и нижнего поясов горизонтальные связи. В местах пересечения балок ригеля с опорными узлами главных ферм располагаются четыре опорные плиты, на которые опирается мост. В центре пространственной конструкции ригеля расположен вертикальный шкворень, закрепленный в конструкциях моста и ригеля. Шарнирная опора 4 состоит из двух плоских рам, соединенных системой фасадных и поперечных связей. Поперечной балкой мост опирается на шарнирную опору через чечевицеобразную линзу в середине ригеля. Вертикальные реакции моста передаются на ригель жесткой опоры через четыре опорные точки, а на ригель шарнирной опоры – через одну. Горизонтальные реакции во всех направлениях воспринимаются шкворнем 3 на жесткой опоре и линзой 1 на шарнирной опоре. Обе опоры закрепляются на балансирных тележках механизма передвижения. В шарнирной системе с раздельным приводом и подвижно-шарнирным сочленением моста с опорами допускается перекося моста в плане до  $10^\circ$ .

Исследованиями ЦНИИПроектстальконструкции, СКМЗ и ВНИИП-ТМАШа выявлены преимущества жесткой системы металлоконструкции перед шарнирной: выше эксплуатационная надежность, проще и легче конструкция, меньшая трудоемкость изготовления и монтажа. Однако механизм передвижения с раздельным приводом, примененный при шарнирной системе, имеет большую надежность, прост по устройству, отличается малым весом, небольшой трудоемкостью и стоимостью изготовления и монтажа, меньшими эксплуатационными расходами, более высоким КПД, чем механизмы передвижения с центральным приводом. Выявившиеся при сравни-

тельном исследовании положительные характеристики металлоконструкций перегружателя жесткой системы и преимущества механизма передвижения с раздельным приводом сделали целесообразным разработку новой комбинированной конструкции жесткой системы, снабженной механизмом передвижения с раздельным приводом.

*Перегружатель с раздельным приводом и жестким сопряжением моста с опорами* (рис. 16, в). Обе опоры данной системы жестко соединяются с соответствующими узлами главных ферм моста. Жесткая 5 и гибкая 4 опоры представляют собой две вертикальные рамы, склепанные с опорными узлами моста на уровне нижнего пояса. Рама жесткой опоры связывается с мостом подкосом, идущим от опорного узла опоры к одному из нижних узлов главных ферм. Передвижение перегружателя осуществляется раздельными, синхронно работающими приводами, установленными на каждой из ходовых балансирных тележек механизма передвижения. В процессе перемещения вдоль склада одна опора может забегать относительно другой. Величина этого забегания для перегружателя с пролетом 76,2 м составляет 250-300 мм. Надежность при передвижении обеспечивается системой ограничителей перекоса.

*Перегружатель жесткой системы, трубчато-балочной конструкции с опорами равной жесткости* (рис. 16, г). Особенности этой конструкции являются крупногабаритные трубчатые элементы и опоры равной жесткости 5. Цельносварная металлоконструкция состоит из двухконсольного моста, выполненного в виде сварной трубы с подвешенными к ней ездовыми балками, и двух пространственных опор треугольной формы с основными элементами из сварных труб. Последние сопрягаются с мостом коробчатыми ригелями и соединяются над тележками механизма передвижения в опорные коробки, связанные одна с другой трубчатыми стяжками. Перегружатель передвигается раздельными, синхронно работающими приводами, расположенными на каждом из четырех балансирных агрегатов (тележек) механизма передвижения. Забегание одной опоры относительно другой контролируется системами ограничителей перекоса. Одинаковая жесткость опор приводит к выравниванию горизонтальных поперечных нагрузок на ходовые тележки. Суммарная поперечная нагрузка на ходовую тележку в рассматриваемой системе с учетом возникающего распора не превышает подобной нагрузки в системе с одной жесткой и одной гибкой опорой. Преимуществом трубчато-балочной конструкции является возможность использования при монтаже металлоконструкций крупногабаритных заводских блоков со стыковкой их монтажной сваркой.

*Конструктивная схема перегружателей жесткой системы комбинированной конструкции*. Во всех комбинированных конструкциях используется совместная работа нижних поясов главных ферм с ездовыми балками. Нижние пояса выполнены в виде коробчатой конструкции, воспринимающей вертикальные нагрузки и крутящий момент. Одна из модификаций этой конструкции представляет собой пространственный решетчатый мост, соединенный с двумя опорами равной жесткости. Металлоконструкция моста состоит из двух главных ферм с треугольной или ромбической решеткой, у которых нижний пояс

имеет коробчатые сечения, а остальные элементы (верхний пояс, раскосы, стойки) Н-образное, тавровое или крестовое. Нижний пояс играет роль балки жесткости и используется для укладки подтележечных рельсов грейферной тележки. Обе главные фермы соединены между собой системами продольных и поперечных связей. Обе опоры имеют равные жесткости, одинаковые принципиальные геометрические схемы и жестко соединяются с мостом.

Особенностью другого типа металлоконструкций является шарнирное соединение шарнирной опоры с мостом и отсутствие продольных связей по поясам шпренгеля. Металлоконструкция моста выполняется из двух главных ферм с коробчатой балкой жесткости, усиленной шпренгельной конструкцией снизу или сверху. Балка жесткости используется для укладки подтележечных рельсов. Обе главные фермы соединяются распорками, установленными в плоскости вертикальных стоек. Продольные связи по поясам шпренгелей отсутствуют. Как жесткая, так и шарнирная опоры имеют однотипную коробчатую конструкцию. Жесткая опора соединена с мостом подкосом, шарнирная – шарниром. Перегрузатель передвигается от отдельных синхронно работающих двигателей. Одной из современных конструкций перегружателей является ферменно-балочная конструкция, разработанная и внедренная ЗАО „Запорожкран”. Кажущаяся на первый взгляд простота и легкость конструкции в действительности является весьма сложной, т.к. основные работы по сборке и сварке металлоконструкции перегружателя большого количества негабаритных элементов металлоконструкции перенесены на монтаж. Это в значительной мере увеличивает срок ввода изделия в эксплуатацию, снижает его качество. Кроме того, значительно возрастают эксплуатационные затраты, связанные с восстановлением лакокрасочных покрытий.

**6. Унификация и типизация конструкций перегружателей.** В краностроении широко применяется унификация и типизация схем и конструкций перегружателей. В основном унификации и типизации подверглись металлоконструкции, а также балансирные тележки, тормоза, редукторы и другие механизмы. Основными эксплуатационными характеристиками являются грузоподъемность и пролет, т. е. расстояние между опорами моста (колея перегружателя), поэтому удобно отдельные модели перегружателей характеризовать этими показателями. Так, мостовой перегружатель (МП), имеющий грузоподъемность 25 т и пролет 60 м, обозначают МП-25-60.

При типизации металлоконструкций перегружателей исходят из унификации генеральных размеров, оптимизации типов сечений с целью получения наименьшей массы металлоконструкций по всему ряду; унификации сечений и отдельных узлов в пределах ряда. На основании опыта проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации перегружателей жесткой решетчатой конструкции для наиболее распространенного пролета 76,2 м ЦНИИпроект-стальконструкция разработал двухсерийный типовой проект: серия I объединяет перегружатели, имеющие одинаковые опоры с высотой до оси главной трубы 21 м; серия II – перегружатели с опорами разной высоты, отличающиеся одна от другой на 8,5 м. В пределах каждой серии при одинаковой для всех

случаев колея перегружателя назначены длина консолей и соответствующий ей выход грейферных тележек. В конструкции типовых перегружателей предусмотрена установка грейферных тележек грузоподъемностью 30 и 40 т, производительностью соответственно 400 и 700 т/ч.

В качестве дополнительного оборудования на типовых перегружателях может устанавливаться ремонтный кран грузоподъемностью до 20 т (используемый при ремонте скипов доменных печей), а также перегрузочное устройство с питателем (для угольных перегружателей) или стационарной перегрузочной воронкой (для рудных перегружателей). Единой для всех типов обеих серий является геометрическая схема моста и гибкой опоры; жесткая опора имеет одинаковую геометрию только в пределах первой или второй серии.

Металлоконструкции типового перегружателя разработаны применительно к технологическим возможностям специализированных заводов строительных металлоконструкций. Для перегружателей, отличающихся длиной консолей и высотой опор, была создана единая пространственная геометрическая схема. Общность геометрии всех типоразмеров перегружателей обеспечило заводское изготовление их с широким применением кондукторов. При этом все элементы перегружателя, изготавливаемые заводским способом, делаются сварными, а ездовые балки – сварными или клепаными. Стальные конструкции соединяются высокопрочными болтами, работающими на трение. В некоторых случаях высокопрочные болты заменены заклепками. Типизация трубчатобалочной конструкции перегружателей осуществлена применительно к технологическим возможностям заводов тяжелого машиностроения.

**7. Методика расчета.** Основными конструктивными параметрами перегружателей являются: пролет  $L$ , длина моста  $L_0$ , размеры консолей, а также высота подъема грейфера  $H$  (рис. 17), которые определяются размерами обслуживаемого им склада (емкостью), технологической схемой грузопотока, способами доставки материалов на склад и выдачи их со склада, способами механизации. Пролет  $L$  перегружателя предусматривают 30-115

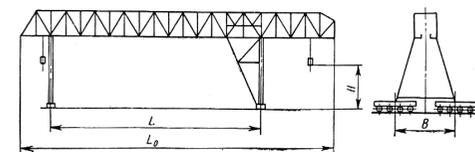


Рис. 17. Основные геометрические параметры перегружателя:

$L$  – длина пролета,  $L_0$  – длина моста,  $H$  – высота подъема грейфера,  $B$  – база перегружателя

м, чаще всего 40-80 м. Высота подъема  $H$  грейфера зависит от глубины разгрузочных траншей и высоты штабеля. Чаще всего  $H = 20 \div 30$  м. База перегружателя  $B$  определяется условиями общей устойчивости. Грузоподъемность перегружателя  $Q$ , рабочие скорости грейферной тележки определяются производительностью перегружателя. Грузоподъемность перегружателя обычно не превышает 50 т. Наиболее распространены перегружатели грузоподъемностью 16-32 т. ГОСТ 1575-61 устанавливает следующий ряд грузоподъемностей перегружателей: 10 т; 12,5 т; 16 т; 20 т; 25 т; 32 т; 40 т; 50 т. Грузоподъемность назначают не только исходя из требуемой производитель-

ности - при прочих равных условиях заданную производительность склада можно обеспечить меньшим количеством перегружателей, если повысить грузоподъемность последних. Однако из-за резервирования перегружателей для ремонта и снятия пиковых нагрузок иногда целесообразнее применить большее число перегружателей при меньшей грузоподъемности.

Рабочие скорости грейферной тележки (крана): подъема (опускания) груза  $v_{гр}$ , передвижения  $v_{т}$ , а также скорость поворота  $v_{пов}$  рекомендуется принимать большими и их соотношения определять в каждом случае исходя из технико-экономических показателей перегружателей и их конструктивных особенностей. Максимальная скорость передвижения тележки ограничивается короткими участками пути перемещения и допусаемым ускорением (принимается, что буксование ходовых колес отсутствует). При полном пути перемещения максимальная средняя скорость передвижения тележек  $v_{mmax} = \sqrt{L_0 j_m}$ , где  $j_m$  – максимально допустимое ускорение грейферной тележки в  $m/c^2$ . Обычно скорость передвижения тележки не превышает  $0,5v_{tmax}$  и составляет 50-360 м/мин в зависимости от длины пути перемещения. Максимальная скорость подъема (опускания) груза при соблюдении допусаемого ускорения подъема (опускания)  $j_n$  и заданной высоте подъема  $H$   $v_{nmax} = \sqrt{Hj_n}$ .

Во избежание больших динамических нагрузок ускорение  $j_n$  принимают равным 1-1,2  $m/c^2$ . Чаще всего скорость подъема (опускания) груза не превышает  $0,3 v_{tmax}$  и составляет 30-100 м/мин. Скорость опускания грейфера принимают равной скорости подъема или несколько большей, т.е.  $v_{on} = (1,0 \div 1,4)v_n$ . Скорость передвижения моста перегружателя назначают равной 15-35 м/мин, и на производительность перегружателя она практически не влияет. Перегружатели, как правило, входят в состав оборудования, обеспечивающего непрерывный технологический процесс погрузочно-разгрузочных операций, поэтому к ним предъявляются высокие требования с точки зрения прочности и надежности. При проектировании перегружателей следует руководствоваться Правилами Госнадзорохрантруда Украины.

Механизмы перегружателей рассчитывают с учетом режима работы механизмов: для механизмов подъема и замыкания грейфера, а также передвижения грейферной тележки режим работы весьма тяжелый (ВТ); для механизмов поворота стрелового крана и изменения вылета стрелы крана – тяжелый (Т); для механизма передвижения стрелового крана – легкий (Л) (режим „Л” для поворотных стреловых кранов перегружателей со встроенными конвейерами) и ВТ, а для механизмов передвижения перегружателя и противоугонных устройств – Л. Расчет металлоконструкций производят с учетом режима работы перегружателей в целом.

В соответствии с методикой, разработанной во ВНИИПТМаше, внешние нагрузки, действующие на кран, определяют для двух состояний: рабочего и нерабочего. При этом под нерабочим понимается такое состояние, когда перегружатель не работает из-за ветра большой силы, сейсмических нагрузок, но нахо-

дится в исправном (рабочем) состоянии. Нагрузки нерабочего состояния могут также действовать на перегружатель, когда он находится в ремонте.

Расчет производят, когда на перегружатель в рабочем состоянии действуют нормальные нагрузки (вариант А) и максимальные нагрузки (вариант Б). При нерабочем состоянии рассчитывают перегружатель, когда на него действуют максимальные нагрузки нерабочего состояния (вариант В). Параметры, учитываемые при расчетах перегружателей, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры для расчета перегружателей

Нагрузки	Расчет на выносливость и прочность при основных нагрузках	Расчет на прочность при нагрузках:				
		основных и дополнительных	основных, дополнительных и случайных	основных	основных и случайных	
		А	Б	В	В	
Вес конструкции	+	+	+	+	+	
Номинальный груз	+	+	+	-	-	
Сила инерции при нормальной работе	+	-	-	-	-	
Ветровая нагрузка по ГОСТ 1451-65	-	+	+	+	-	
Эквивалентная ветровая нагрузка	+	-	-			
Нагрузка, возникающая от уклона пути, качки крана	+	+	+	+	+	
Буксировочный момент на оси ведущих ходовых колес, максимальный момент двигателя, тормоза, муфты предельного момента, силы инерции	-	+	-	-	-	
Ударная нагрузка	-	-	+	-	-	
Ураганный ветер	-	-	-		+	
Сейсмическая нагрузка	-	-	-	-	+	

Нагрузки, соответствующие расчетным случаям нагружения перегружателей, разделяются на весовые, ветровые и инерционные. К особым видам нагрузок относятся сейсмические, нагрузки от снега и оледенения, от ударов тележки (перегружателя) о буфера, от температурных воздействий, нагрузки монтажные и транспортные. Наибольшую сложность представляет определение ветровых нагрузок.

*Ветровые нагрузки*, действующие на перегружатель, существенно влияют на общее сопротивление передвижению перегружателя и тележки, распределение давлений на ходовые колеса перегружателя и элементы металлоконструкций, устойчивость перегружателя, а также на число и мощность противоугонных уст-

роиств. Воздействие ветра на конструкции перегружателей учитывается при расчете металлоконструкций перегружателя на прочность. Она создается давлением ветра на наветренную площадь перегружателя, тележки и груза (грейфера) и зависит от наветренной площади, скорости ветра, пульсации этой скорости и формы сечения элементов крана, обтекаемых воздухом.

Распределенная ветровая нагрузка  $w$  на наветренную поверхность конструкции крана  $w = q_0 \cdot n \cdot c \cdot g \cdot b$ , где  $q_0$  – скоростной напор ветра на высоте до 10 м над поверхностью земли;  $n$  – поправочный коэффициент на возрастание скоростного напора в зависимости от высоты над поверхностью земли (воды);  $c$  – аэродинамический коэффициент;  $g$  – коэффициент перегрузки;  $b$  – коэффициент, учитывающий динамическое воздействие, вызываемое пульсациями скоростного напора ветра.

*Инерционные нагрузки* в перегружателях возникают при неустановившихся движениях механизмов, при толчках, вызванных неровностями пути во время передвижения тележки (крана) или перегружателя, при ударах тележки (крана) о буйера. Механизмы передвижения тележки (крана) и перегружателя преодолевают в период разгона (торможения) инерционные нагрузки  $P_{u.n} = (G_n + G_m + G_{zp}) \cdot v_n / g t_{p(m)}$ ;  $P_{u.m} = (G_m + G_{zp} + G_n) \cdot v_m / g t_{p(m)}$ , где  $G_n$ ,  $G_m$ ,  $G_{zp}$ ,  $G_n$  – вес соответственно перегружателя, тележки (крана), грейфера и полезного груза;  $v_n$ ,  $v_m$  – установившаяся номинальная скорость соответственно передвижения перегружателя и тележки (крана);  $t_{pt}$  – время разгона (торможения) перегружателя или тележки (крана).

Инерционные нагрузки при подъеме  $P_{u.n}$  и опускании грузевого грейфера  $P_{u.n} = (G_{zp} + G_m) \cdot v_{no} / g t_p$ ;  $P_{u.c} = (G_{zp} + G_m) \cdot v_c / g t_{p(m)}$ , где  $v_{no}$ ,  $v_c$  – скорость соответственно подъема и опускания грузевого грейфера;  $t_p$  и  $t_r$  – время разгона механизмов лебедки при подъеме грейфера и время торможения при опускании.

При расчете деталей механизмов и элементов металлоконструкций на прочность расчетные максимальные нагрузки должны определяться в результате исследования динамических расчетных схем механизмов и металлоконструкций. Расчет на выносливость и на прочность деталей механизмов производится исходя из условия  $\sigma \leq [\sigma] = \sigma_0 / K_n K_m$ , где  $\sigma$  – максимальное напряжение, действующее в детали, с учетом коэффициентов концентрации напряжения, состояния поверхности и посадок, МПа;  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение для рассчитываемой детали;  $\sigma_0$  – опасное напряжение материала при данном напряженном его состоянии (предел выносливости, предел текучести, предел прочности) в зависимости от расчетного случая;  $K_n$  – коэффициент, учитывающий влияние внутренних дефектов материала.

При расчете на выносливость принимают для проката и поковок  $K_n = 1,1$ , для стальных отливок  $K_n = 1,3$ . При расчете на прочность по статическим характеристикам  $K_n = 1,0$ . Общий запас прочности  $K_m = K_1 + K_2$ , где  $K_1$  – коэффициент безопасности, зависящий от назначения и степени ответственности механизма;  $K_2$  – коэффициент, учитывающий режим работы механизмов. Значения коэффициента  $K_1$  и  $K_2$  для расчетных случаев следующие:

- значения коэффициента  $K_1$  для механизма подъема и замыкания грейфера, механизма передвижения грейферной тележки (крана) и механизма поворота стрелового крана  $K_1 = 1,2$  (вариант А) и  $K_1 = 1,1$  (вариант Б); для механизма изменения вылета стрелы  $K_1 = 1,4$  (вариант А),  $K_1 = 1,3$  (вариант Б) и  $K_1 = 1,3$  (вариант В); для механизма противоугонных устройств  $K_1 = 1,5$  (вариант А),  $K_1 = 1,4$  (вариант Б) и  $K_1 = 1,3$  (вариант В).

- значения коэффициента  $K_2$  для различных режимов работы:  $K_2 = 1,0$  – легкий;  $K_2 = 1,1$  – средний;  $K_2 = 1,2$  – Т;  $K_2 = 1,3$  – весьма тяжелый.

При выборе допускаемых напряжений ВНИИПТМАШ рекомендует использование следующих формул: при статической нагрузке для пластичного материала –  $\sigma_s / K_m$ , для хрупкого –  $\sigma_b / K_m$ ; при переменной (симметричной) –  $\sigma_{-1} / K_m K_n$ , при ударной –  $\sigma_s / K_m$  (для пластичного материала) ( $\sigma_s$ ,  $\sigma_b$  и  $\sigma_{-1}$  – предел соответственно текучести, прочности, выносливости при симметричном цикле).

**Выводы.** Таким образом, приведенные выше для перегружателей основные соотношения, расчетные схемы, нагрузки и ограничения представляют собой исходную информацию для расчетов напряженно-деформированного состояния силовых элементов металлоконструкции. Однако сам расчет НДС требует отдельного рассмотрения, т.к. сопряжен с решением задачи теории упругости для тел сложной формы. Для решения данной задачи в настоящее время наиболее подходит численный метод конечных элементов.

Проведенный анализ методов расчета напряженно-деформированного состояния тяжело нагруженных крупногабаритных машин позволяет сделать заключение о том, что исходя из типа машины, ее конструктивного решения и условий эксплуатации создается расчетная модель, формируются ограничения на напряжения и деформации, а сам расчет НДС проводится в одном из специализированных компьютерных пакетов [7]. Соответственно, последующий анализ результатов расчета приводит к необходимости корректировки конструкции машины и проведения повторных расчетов. Поскольку это сопряжено с огромным информационным потоком, то длительность и сложность этих расчетов требуют создания специализированных программно-модельных комплексов, которые автоматизируют, ускоряют и удешевляют проведение этих исследований.

**Список литературы:** 1. Александров В.М., Коваленко Б.В. Задачи механики сплошных сред со смешанными граничными условиями. – М.: Наука, 1986. – 336 с. 2. Александров В.М., Пожарский Д.А. Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел. – М.: Факториал. – 1998. – 288 с. 3. Александров В.М., Пожарский Д.А. Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел. – М.: Факториал. – 1998. – 288 с. 4. Елисеев В.В. Механика упругих тел. // СПб.: СПбГУ. – 1999. – 341 с. 5. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1976. – 455 с. 6. Гусев Ю.Б. Общий подход к обеспечению долговечности, работоспособности и сохранения нагрузочной способности мостовых перегружателей - Восточно-европейский журнал передовых технологий // 2008.- №3. – С. 39-43. 7. Гусев Ю.Б., Танченко А.Ю. Обеспечение технического уровня сложных пространственных конструкций на основе моделирования физико-механических процессов на примере обоснования параметров мостового перегружателя - Вестник НТУ "ХПИ". Тем. вып.: Машинознавство та САПР. -2008. - №14. - С.34-46.

Поступила в редакцию 02.06.08