

УДК 621.875.5

Численное моделирование допустимых ветровых нагрузок для рабочего состояния механизмов передвижения порталного крана типа Ганц

Н.Е. Подобед

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра управления судном и промышленного рыболовства

Аннотация. В статье приведены установленные допустимые ветровые нагрузки для рабочего состояния механизма передвижения в зависимости от вылета стрелы и угла поворота крана к направлению ветра, определено влияние состояния подкрановых путей на безопасность работы крана.

Abstract. The paper presents the established allowable wind loads for the operational status of the mechanism of movement depending on the loading arm and the rotation angle of the crane to the wind direction, the effect of the state of runways on the safety of the crane has been determined.

Ключевые слова: моделирование, ветровая нагрузка, механизм передвижения, порталный кран
Key words: modelling, wind load, travel mechanism, port crane

1. Введение

В работе (Подобед и др., 2009) получена математическая модель и приведены основные результаты математического моделирования работы порталного крана с прямой стрелой типа Ганц при динамическом воздействии ветра с учетом работы механизма передвижения крана. Был рассмотрен частный случай работы порталного крана при динамическом воздействии ветра для типовых циклов его работы. В настоящей статье приводятся результаты численного моделирования влияния динамической нагрузки на основные показатели его работы: максимальные нагрузки в механизмах; ускорения, скорости и пути движения крановых механизмов и груза; углы раскачивания груза в пространстве; время переходных процессов механизмов (разгон и торможение). Исследования проводились при изменении средней скорости ветра $15 \leq \bar{V} \leq 20$ м/с, коэффициента пульсации $1,05 \leq K_n \leq 1,45$, периода пульсации $5 \leq \tau \leq 40$ с и коэффициента парусности $0,5 \leq K_F \leq 1,5$, который равен отношению наветренной площади груза к его весу $K_F = F_n/Q$. Вес груза Q и его наветренная площадь F_n принимались в соответствии с ГОСТ 1451-77, а также существующей номенклатурой перегружаемых грузов в портах. Коэффициент парусности для грейфера с грузом для порталного крана "Ганц" грузоподъемностью 5 тс составляет $K_F = 0,5$, а для порожнего грейфера – $K_F = 1,0$. Рассматриваются три случая, при которых возможен угон крана ветром при всех возможных сочетаниях вылета стрелы ρ и угла поворота φ крана к направлению действия ветровой нагрузки: первый случай – работают механизмы подъема, изменения вылета стрелы, поворота и передвижения крана (передвижение крана осуществляется по сухим подкрановым рельсам, коэффициент трения заторможенных колес о рельс $\mu=0,15$); второй случай – работают механизмы подъема, изменения вылета стрелы, поворота и передвижения крана (передвижение крана осуществляется по влажным подкрановым рельсам, коэффициент трения заторможенных колес о рельс $\mu=0,12$); третий случай – кран перемещается с грузом (грейфером) при неработающих механизмах по направлению ветра (перемещение крана осуществляется по влажным подкрановым рельсам, коэффициент трения заторможенных колес о рельс $\mu=0,12$).

2. Оценка основных показателей работы крановых механизмов при воздействии ветра

Максимальные эксплуатационные нагрузки в механизмах крана возникают во время переходных процессов (при пуске и торможении) и определяются настройкой пусковой аппаратуры электродвигателей (регулировкой тормозов), а также характером управления краном. Поэтому максимальные нагрузки практически мало зависят от изменения сил сопротивления в период установившегося движения крана в пределах рабочего цикла при одних и тех же его геометрических параметрах (вылет стрелы ρ и угол поворота φ крана). Максимальные усилия в механизме передвижения крана ограничивались электрической защитой срабатывания от перегрузки электродвигателей. При этом тормозные усилия принимались в пределах номинальных усилий электродвигателей с учётом остановки крана против ветра. Обращает на себя внимание отсутствие заметного увеличения максимальных нагрузок при движении крана с грузом

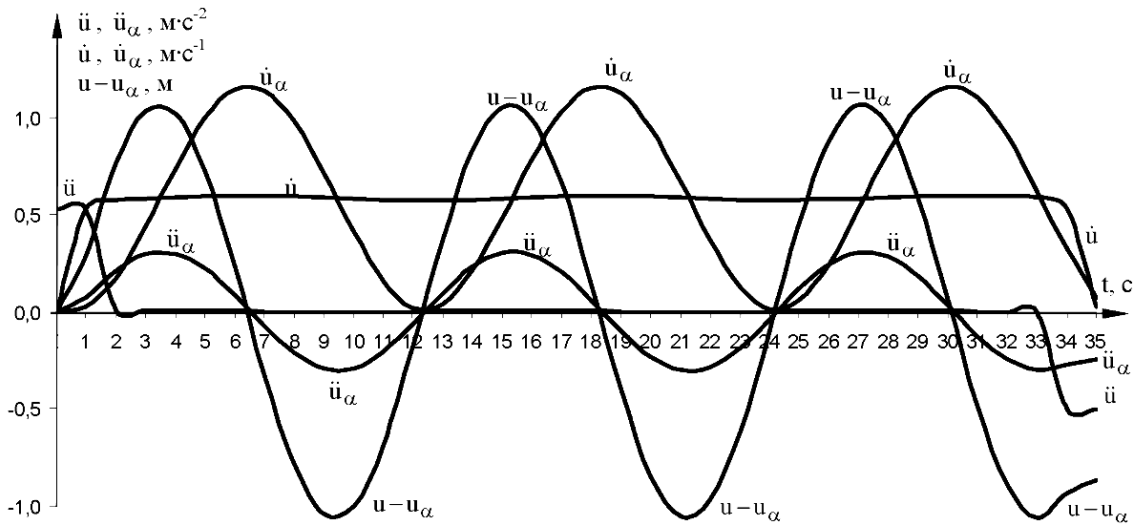


Рис. 1. Графики ускорений, скоростей и амплитуд колебаний крана и груза при постоянных движущем усилии и длине подвеса груза без влияния ветра

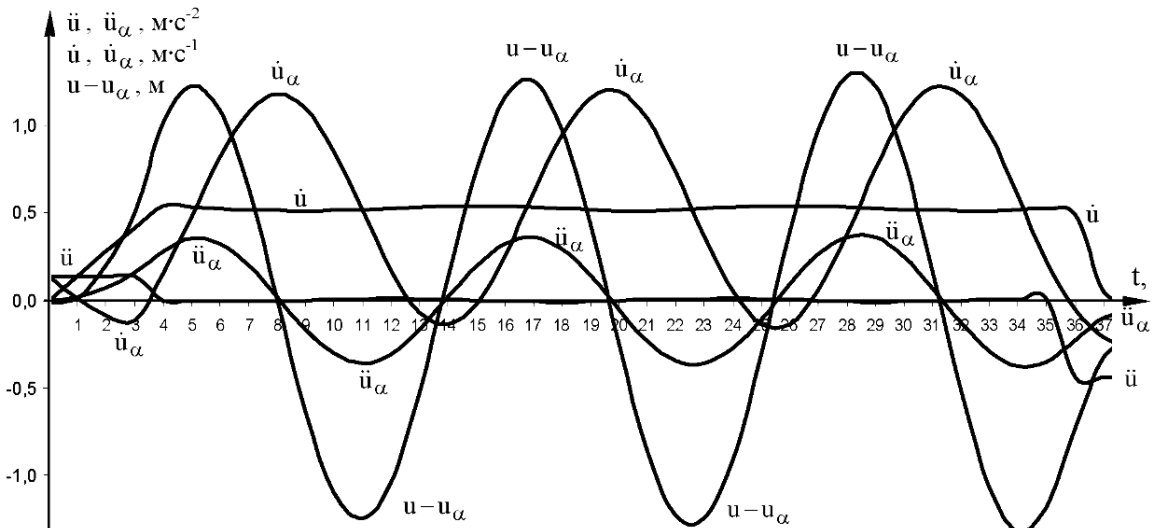


Рис. 2. Графики ускорений, скоростей и амплитуд колебаний крана и груза при постоянных движущем усилии и длине подвеса груза при воздействии ветра

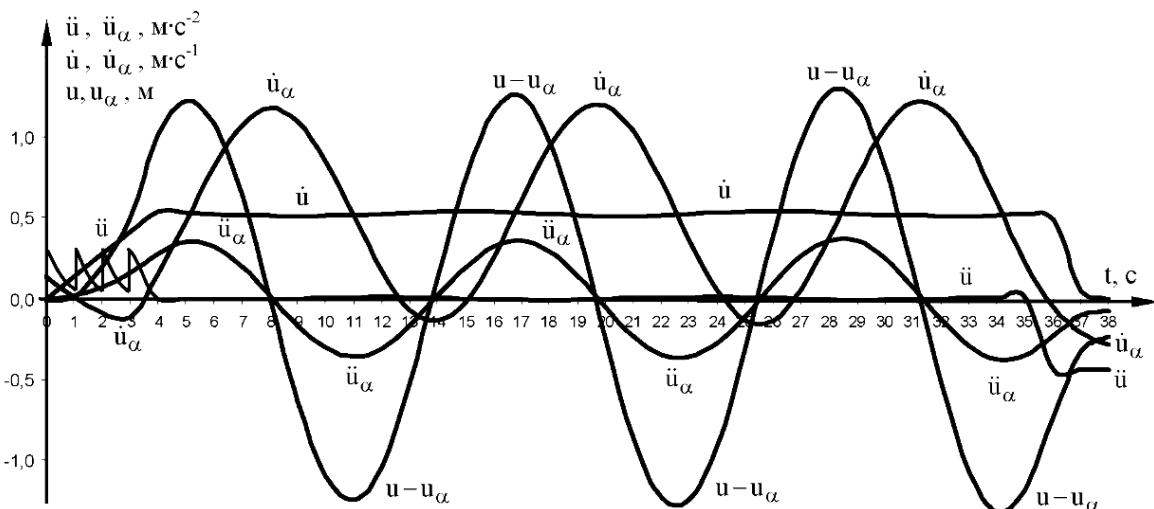


Рис. 3. Графики ускорений, скоростей и амплитуд колебаний крана и груза при реостатном пуске электродвигателя механизма передвижения и постоянной длине подвеса груза при воздействии ветра

против ветра при скорости до 15 м/с по сравнению с $V = 0$ (отсутствие ветра). Это объясняется "мягкими" пусковыми характеристиками двигателей, в результате чего с увеличением общего сопротивления на механизмы крана время переходных процессов также увеличивается.

На рис. 1-3 приведены полученные на основании численного моделирования графики зависимостей кинематических и геометрических показателей движения крана и груза при постоянной длине подвеса груза $l = 34,1$ м и перемещении крана на расстояние 20 м. Движущие усилия механизма передвижения принимались постоянными при разгоне (пуске) механизма передвижения крана и ступенчатыми при реостатном пуске электродвигателей, которые соответствовали механическим характеристикам электродвигателя с фазным ротором. Исследовались случаи передвижения крана без ветра и при воздействии ветра скоростью 20 м/с. Максимальные ускорения точки подвеса груза возникают в моменты пуска и торможения механизмов крана и по времени совпадают с действием максимальных усилий при разгоне и торможении механизмов. При установившихся движениях крановых механизмов их ускорения равны практически нулю. Ускорения груза описываются синусоидальной функцией с периодами колебаний, соответственно, по координате $\rho_\alpha - 8,5-13$ с, по координате $\varphi_\alpha - 8-10$ с, а по координате $u_\alpha - 12-14$ с.

Изменение скоростей механизмов при их разгоне происходит плавно. Во время установившихся движений крановых механизмов графики их скоростей в функции времени имеют трапецевидную форму для всех случаев их работы. Скорости движения груза по соответствующим координатам в функции времени отражают синусоидальный колебательный процесс относительно скорости движения механизмов (точки подвеса груза) с периодами колебаний 8-14 с. Влияние ветра на изменение скоростей механизмов характеризуется соответствующими коэффициентами превышения номинальных скоростей механизмов. При работе крана с грузом против ветра скорости механизмов практически не зависят от скорости ветра, его порывистости и парусности грузов (превышение скоростей составляет в пределах 5 %).

Движения груза по соответствующим координатам имеют в основном характер гармонических вынужденных колебаний с периодами 8-14 с. Причём центр колебаний груза смещен относительно точки его подвеса в направлении действия ветровой нагрузки. Амплитуда раскачивания груза в значительной мере зависит от величины ветровой нагрузки, и при скорости ветра 20 м/с такое увеличение составляет около 30 %.

Углы раскачивания груза в пространстве являются основной эксплуатационной характеристикой работы порталного крана в условиях ветровых нагрузок. В ходе численного моделирования работы порталного крана управление (режим включения электродвигателей) оставалось неизменным независимо от скорости ветра. Дополнительные управления, направленные на гашение колебаний груза, не учитывались. Рассчитанные углы раскачивания груза являются максимально возможными. Подобное может иметь место только при автоматической работе порталного крана без обратной связи по углу раскачивания груза.

Получены зависимости максимальных углов раскачивания груза α_{\max} в функции скорости ветра V и парусности груза K_F , встречающихся во время работы порталного крана "Ганц" против ветра. С увеличением коэффициента парусности грузов K_F доля ветровых нагрузок в общем балансе сил, действующих на груз, увеличивается, что подтверждается возрастанием углов раскачивания грузов с ростом скорости ветра. Влияние ветра на максимальные углы раскачивания груза в пространстве с коэффициентом парусности менее $K_F \leq 0,5$ незначительно, для грузов с $0,5 \leq K_F \leq 1,0$ это влияние составляет в среднем 25 %, для грузов с $1,0 \leq K_F \leq 1,5$ соответственно 30-40 %. Допустимые скорости ветра для рабочего состояния крана с ограничениями, накладываемыми на вылет стрелы и поворот крана составляют: для грузов с коэффициентом парусности $K_F \leq 0,5 - 20$ м/с, для грузов с $0,5 \leq K_F \leq 1,0 - 18$ м/с и для грузов с $1,0 \leq K_F \leq 1,5 - 15$ м/с. Допустимые скорости ветра для рабочего состояния крана без ограничений на вылет стрелы и поворот крана для грузов с $0,5 \leq K_F \leq 1,0 - 18$ м/с.

Исследованиями установлено, что величина наиболее вероятных теоретических углов раскачивания груза в пространстве составляет $5^\circ-8^\circ$, а максимальных, встречающихся в цикле, $10^\circ-12^\circ$. Однако в условиях ветра крановщик будет работать более осторожно, не допуская при этом опасного раскачивания груза. Исходя из того, что в расчётах на перегрузку крановых механизмов максимальные углы раскачивания груза принимаются равными 10° , в данных исследованиях нагрузки от раскачивания груза в пространстве также принимаются из расчёта отклонения груза в пространстве на 10° .

Получены зависимости времени пуска и торможения механизмов в зависимости от скорости ветра и парусности грузов. Как показали исследования, длительность переходных процессов механизмов зависит от направления ветра, величины средней скорости ветра и практически мало зависит от порывистости ветра и парусности грузов. На время переходных процессов и величину тормозных путей механизмов влияет положение груза в пространстве. При исследуемых параметрах скорости ветра и парусности грузов время пуска механизма поворота составляет 6,5-10,4 с, а время торможения 4,0-5,0 с;

время пуска механизма вылета стрелы в первой половине полуцикла составляет 3,5-6,8 с, а во второй половине полуцикла 1,8-2,7 с, а время торможения механизма в полуциклах соответственно составляет 2,1-0,7 с и 1,2-0,4 с. Время разгона механизма передвижения крана при отсутствии ветра составляет 2 с, а при максимально допустимой скорости ветра 20 м/с – 4 с, что соответствует паспортному времени разгона механизма. Время, за которое кран проходит путь в 20 м при переходе с одного трюма судна на другой, соответственно, составляет без ветра – 35 с, при воздействии ветра и постоянном движущем усилии – 37 с, а при реостатном пуске электродвигателя с фазным ротором при воздействии ветра – 38 с.

3. Определение допустимых скоростей ветра для рабочего состояния крана

На рис. 4 приведены допустимые скорости ветра для рабочего состояния механизма передвижения крана по условиям перегрузки электродвигателей механизма при совместной работе механизмов изменения вылета стрелы, поворота и передвижения крана в зависимости от вылета стрелы ρ и поворота крана φ к направлению ветра. Допустимая скорость ветра для рабочего состояния механизма передвижения крана по условиям его перегрузки с ограничениями, накладываемыми на вылет стрелы и поворот крана, составляет 20-22 м/с, а без ограничений на вылет и поворот крана соответственно 17-18 м/с.

На рис. 5 приведены допустимые скорости ветра для рабочего состояния механизма передвижения крана по условиям пуска (разгона) механизма передвижения крана при совместной работе механизмов изменения вылета стрелы, поворота и передвижения крана в зависимости от вылета стрелы ρ и поворота крана φ к направлению ветра. Допустимая скорость ветра для рабочего состояния механизма передвижения крана по условиям его пуска (разгона) с ограничениями, накладываемыми на вылет стрелы и поворот крана, составляет 17,5 м/с, а без ограничений – 13 м/с.

Определяющим показателем работы механизма передвижения крана при совместной работе механизмов вылета стрелы и поворота крана является время пуска (разгона) механизма. На рис. 6 приведены эксплуатационные зоны для рабочего состояния механизма передвижения крана, ограниченные вылетом стрелы ρ и углом поворота φ . Максимальная допустимая скорость ветра для рабочего состояния механизма передвижения крана с ограничениями, накладываемыми на вылет стрелы и поворот крана, составляет 15-16 м/с, а без ограничения – 13 м/с. Следует заметить, что паспортное значение скорости ветра для рабочего состояния крана составляет 18 м/с. С увеличением вылета стрелы при встречном ветре при углах поворота $\pm 20^\circ$ коэффициент аэродинамического сопротивления стрелового устройства уменьшается, поэтому увеличивается допустимая скорость ветра для рабочего состояния механизма передвижения крана. Уменьшение расчётной допустимой скорости ветра для рабочего состояния механизма передвижения объясняется учётом собственных скоростей перемещения крановых механизмов.

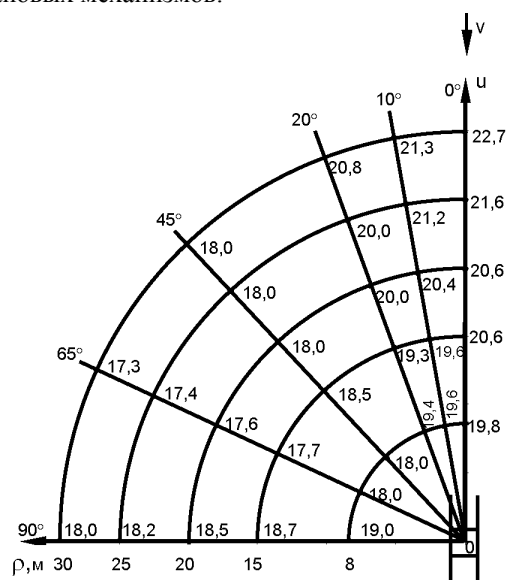


Рис. 4. Допустимые скорости ветра для рабочего состояния механизма передвижения по условиям его перегрузки при совместной работе механизмов изменения вылета стрелы, поворота и передвижения крана в зависимости от ρ и φ

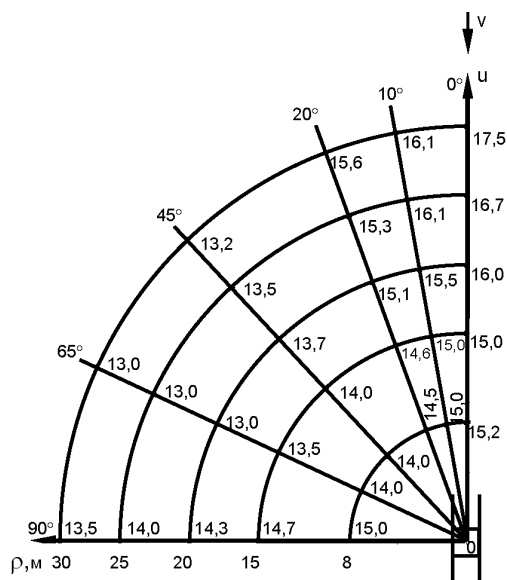


Рис. 5. Допустимые скорости ветра для рабочего состояния механизма передвижения по условиям его пуска при совместной работе механизмов изменения вылета стрелы, поворота и передвижения крана в зависимости от ρ и φ

На рис. 7-9 приведены результаты расчётов основных показателей режима работы крана с грузом (грейфером) при его движении по ветру. Цифрами указаны допустимые скорости ветра для рабочего состояния механизма передвижения, как при совмещённой работе механизмов изменения вылета стрелы, поворота крана и передвижения, так и при работе только механизма передвижения с грузом (грейфером) при возможных сочетаниях вылета стрелы ρ и угла поворота крана φ к направлению ветра.

Как следует из рис. 7, допустимая скорость ветра для рабочего состояния механизма передвижения по условиям торможения при совместной работе механизмов изменения вылета стрелы, поворота и передвижения крана при сухих подкрановых рельсах составляет около 11 м/с, а при влажных рельсах около 7 м/с (рис. 8).

Как правило, при ветровых нагрузках кран перемещается без совмещения работы всех других механизмов при углах поворота $\pm(160-180^\circ)$, чтобы наблюдать за состоянием подкрановых рельсов и гибким питающим электрическим кабелем. Для этих случаев допустимая скорость ветра для рабочего состояния механизма передвижения для худшего случая (перемещение крана по влажным рельсам) по условиям торможения для возможных сочетаний вылета стрелы и угла поворота крана составляет около 14 м/с (рис. 9), в то время как паспортное значение скорости ветра для рабочего состояния крана "Ганц" составляет 18 м/с. Если же учесть, что на поверхности подкрановых рельс в отдельных местах практически всегда присутствует смазка, а в зимнее время – снег и лёд, то допустимая скорость ветра для передвижения крана может составлять намного меньше паспортной величины, т.е. уже при скорости ветра 10-12 м/с существует вероятность угона крана ветром.

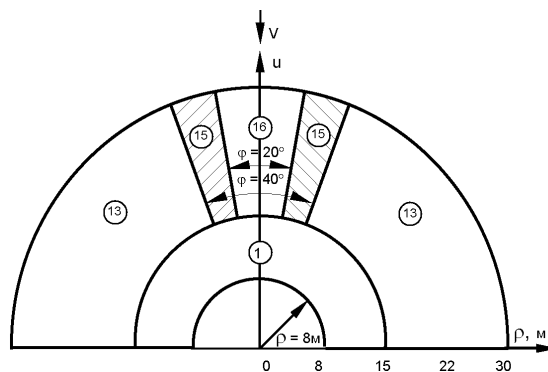


Рис. 6. Эксплуатационные зоны для передвижения крана, ограничиваемые ρ и φ к направлению ветра. Цифрами обозначены допускаемые скорости ветра для рабочего состояния механизма передвижения крана

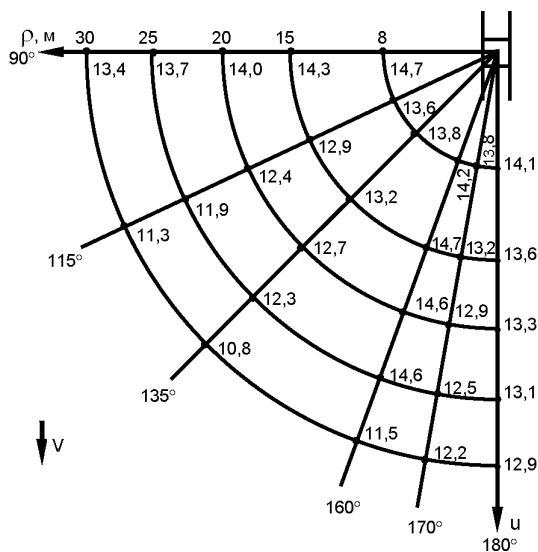


Рис. 7. Допустимые скорости ветра для рабочего состояния механизма передвижения по условиям его торможения при совместной работе механизмов изменения вылета стрелы, поворота и передвижения крана в зависимости от ρ и φ к направлению ветра при сухих подкрановых рельсах (коэффициент трения $\mu=0,15$)

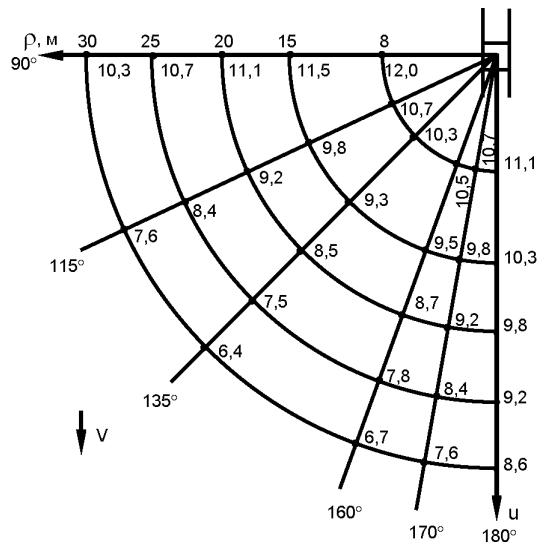


Рис. 8. Допустимые скорости ветра для рабочего состояния механизма передвижения по условиям его торможения при совместной работе механизмов вылета стрелы, поворота и передвижения крана в зависимости от ρ и φ к направлению ветра при влажных подкрановых рельсах (коэффициент трения $\mu=0,12$)

4. Заключение

Численными методами исследованы в функции времени нагрузочные, кинематические и геометрические показатели работы механизмов передвижения портального крана с прямой стрелой типа

Ганц при динамическом воздействии ветровой нагрузки с учетом работы механизмов подъема груза, изменения вылета стрелы и поворота крана.

Из условий ограничения основных показателей работы крана определены допустимые ветровые нагрузки для рабочего состояния механизма передвижения portalного крана типа Ганц в зависимости от вылета стрелы ρ и угла поворота крана φ к направлению ветра. Основными критериями, определяющими безопасность работы крана при ветре, являются время и коэффициент запаса торможения механизма передвижения с подкрановыми рельсами. Наряду с этими показателями, важную роль также играют влияние совмещенной работы крановых механизмов и состояние подкрановых путей.

При движении крана по влажным рельсам при совмещенной работе механизмов подъема, изменения вылета стрелы и поворота крана допустимая скорость ветра для рабочего состояния механизма передвижения составляет 7 м/с, а при несомещенной работе – около 14 м/с.

Состояние подкрановых путей: влажные рельсы, наличие на путях смазочных материалов, льда и снега – приводит к тому, что угон крана ветром возможен уже при скорости 10-12 м/с, в то время как паспортное значение скорости ветра для рабочего состояния крана "Ганц" составляет 18 м/с.

Таким образом, для обеспечения безопасности работ в первую очередь необходимо использовать специальные переносные противоугонные устройства, предотвращающие угон portalных кранов типа Ганц ветром.

Литература

Подобед Н.Е., Подобед В.А., Меньшиков В.И. Математическое моделирование ветровых нагрузок на механизмы передвижения portalных кранов с прямой стрелой. *Вестник МГТУ*, т.12, № 1, с.27-33, 2009.

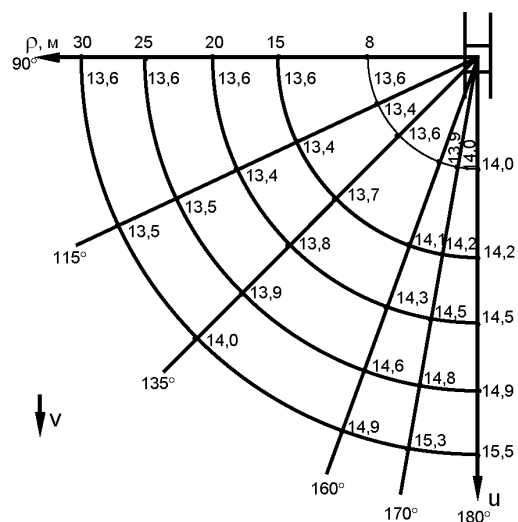


Рис. 9. Допустимые скорости ветра для рабочего состояния механизма передвижения по условиям его торможения в зависимости от ρ и φ к направлению ветра при влажных подкрановых рельсах, $\mu=0,12$