

9. Razrabotajj teoriyu hidravliki hydro-metricheskikh sooruzhenij i tehnologii vodoucheta na meliorativnyh systemah. NTO. – M.: VNIIGiM, 2004.

The material was received at the editorial office
31.03.2016

Information about the author

Kusher Anatolij Mikhailovich, candidate of technical sciences, leading researcher, FSBSI «The All-Russian scientific research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov», 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44; tel.: 8 (499) 154-52-09; e-mail: econgamk@pochtamt.ru

УДК 502/504:631.365

Н.А. РОМАНЕЕВ, В.В. ВАРЫВДИН, Д.А. БЕЗИК

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», г. Брянск, Россия

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРЫ НОРИИ МЕТОДОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

Условия работы машин, в частности, сельскохозяйственных, формируют определенные требования к конструкции узлов и отдельных деталей, к их компоновке, объему средств, привлекаемых на разработку и запуск в производство. С помощью компьютерной программы, позволяющей изменять параметры модели, добиваясь наилучших конструктивных соотношений, провели проверочный расчет норийной башни сушилки СП-50. В качестве инструмента исследования принята отечественная инновационная методика автоматизированного проектирования WinMachine, версия Structure 3D, позволяющая решать задачи в широком диапазоне вопросов. Была поставлена задача прогнозирования параметров сечения стандартного профиля для новых конструкций башни. Для уточнения и подтверждения данных, полученных с помощью компьютерного моделирования, для определения оптимальных параметров уголка был проведен полнофакторный эксперимент. С использованием средств, предоставленных математическим пакетом MATLAB, был получен аппроксимирующий многочлен для коэффициента устойчивости. Применение инновационной расчетной программы при проведении многовариантного проектирования опорной конструкции нории обеспечило оптимальное сочетание технических параметров проектируемого изделия, а также получение уравнения регрессии для коэффициента устойчивости по геометрическим параметрам стандартного профиля материала. Имеется реальная возможность производить расчеты по ряду параметров оптимизации конструкции: материалоемкость, напряжения и т.д. Точность результатов обеспечивается тем, что в основу методики расчета в названной программе положен метод конечных элементов. Расчеты конструкции башни как упругой системы производятся на прочность и устойчивость. Оставляя коэффициенты запаса прочности и устойчивости на достаточно высоком уровне, авторы сумели уменьшить металлоемкость башни для нории высотой 22 м и производительностью 50 т/ч на 2,5 т.

Башня, нория, прочность, устойчивость, металлоконструкция, уголок, сечение.

Введение. В пределах срока службы одного поколения техники часто приходится решать задачи ее совершенствования и повышения уровня надежности. Ускорение темпов жизни, требования экономики диктуют необходимость повышения производительности оборудования одновременно в категории массы и времени. Для выпускаемого оборудования такая ситуация обеспечивается постоянным увеличением скоростей и нагрузок в опорных конструкциях и узлах трения, что приводит к возрастанию размеров, массы, мо-

ментов инерции, увеличению вибрации машины и, как следствие, – к ужесточению напряженного состояния узлов деталей.

Материалы и методы исследования. Несколько лет назад возникла необходимость проведения нами проверочного расчета работающей конструкции. В исследованиях использовали отечественный пакет программ АРМ WinMachine, предназначенный для решения широкого спектра машиностроительных задач [1]. Простота расчетов дает возможность выполнять многовариантное

проектирование, оптимизировать конструкцию и предлагать новые, нетрадиционные решения. Один из модулей этого пакета, АРМ Structure 3D, представляет собой универсальную программу для расчета и проектирования объемных стержневых, твердотельных и смешанных конструкций [2]. С помощью этой программы был сделан проверочный расчет норийной башни зерносушилки СП-50. Изменяя параметры модели, мы добивались наилучших конструктивных решений [1, 3].

Для проведения расчета была создана пространственная модель металлоконструкции. Элементы конструкции имеют поперечное сечение стержней в виде уголка разных размеров по ГОСТ 8239-89, материал – сталь СтЗкп; соединение элементов конструкции друг с другом – жесткое. Высота башни в первом расчете составляла 22 м. Башня установлена на четырех опорах, расположенных по углам нижнего основания. Нагрузка была представлена равномерно распределенной: по верхней площадке нории – 25 кН, боковой площадке – 5 кН, снеговая и ветровая – 0,5 кН, приложена к узлам башни и боковой площадке. Программа производит расчет методом конечных элементов. В этом случае форма деталей моделируется достаточно точно. Модель башни и схема нагружения представле-

ны на рисунке 1 а. Общим направлением при проведении расчетов было сохранение достаточного запаса прочности и устойчивости при уменьшении металлоемкости. Позже мы провели специальные исследования факторов, определяющих металлоемкость башни [4].

Результаты исследований. Наиболее опасными зонами концентрации напряжений являются стойки нижней секции, хотя и в этих зонах напряжение не больше допустимого ($64 < 160$ МПа). Максимальные напряжения в поперечных сечениях опорных стоек составляют 50...64 МПа. Частота собственных колебаний металлоконструкции башни сушилки СП-50 находится в пределах 0...22 Гц при частоте вращения выгрузного барабана транспортера нории – до 3,5 Гц.

Форма потери устойчивости определена наибольшими отклонениями, которые дают диагональные раскосы на боковых поверхностях в нижней части конструкции башни (рис. 1 б). Металлоконструкция башни выполнена с запасом прочности по допускаемым напряжениям в 2,2 раза, по коэффициенту запаса устойчивости – более 5, что позволяет сделать вывод о возможности уменьшения профиля металлопроката. Таким путем можно достигнуть экономии металла до 2,5 т в сравнении с исходной конструкцией.

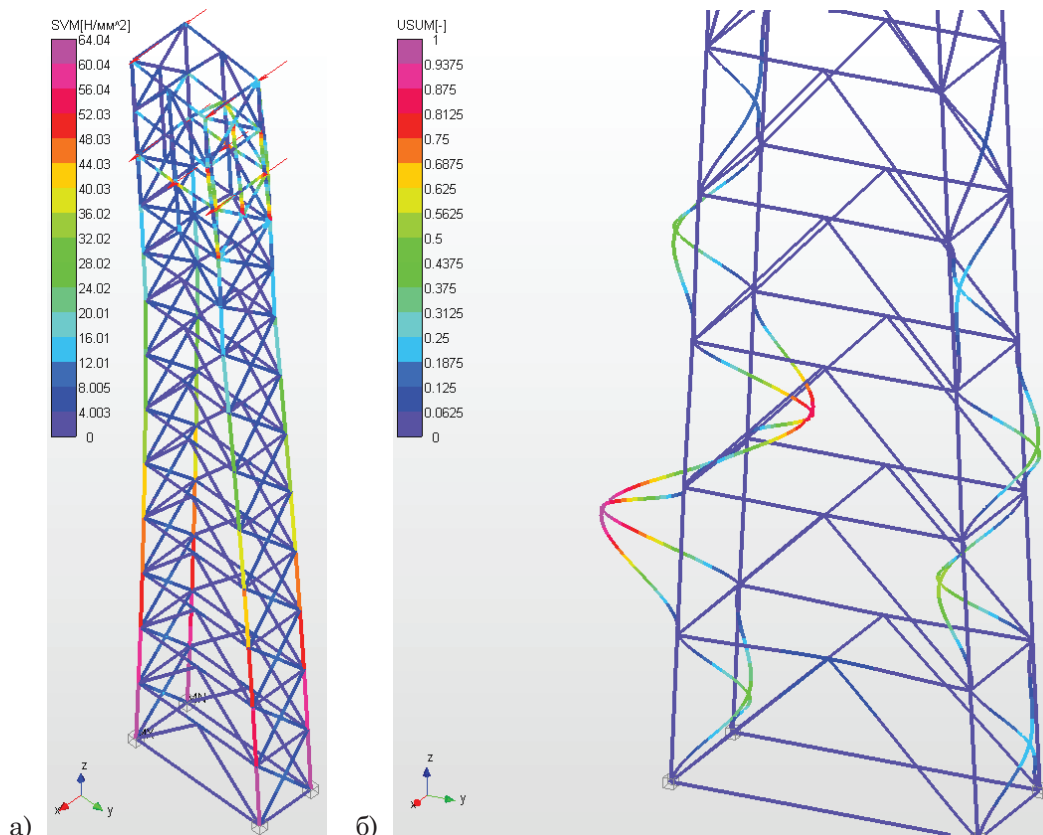


Рис. 1. Модель башни и схема нагружения: а) схема нагружения и напряжение в элементах башни; б) карта потери устойчивости башни

При сравнительном расчете металлоконструкции башни высотой 27,5 и 31,5 м было установлено, что с увеличением высоты максимальное напряжение увеличивается на 50% (39 МПа и 64 МПа), коэффициент устойчивости снижается примерно в той же пропорции (15,8 и 12,1), увеличение массы башни составляет около 15%.

Применение одинакового профиля уголка, допустим, 75 мм, но разной толщины (75 × 5 и 75 × 9) приводит к значительному увеличению массы башни, более 70% (3,7 т и 6,5 т). При изготовлении башни из уголка 100 × 10 мм, по сравнению с серийно выпускаемой (уголок 125 × 10 мм), масса башни уменьшается на 20%, а напряжение в стойках составляет 22 МПа (допускаемое – 160 МПа), коэффициент устойчивости – 80,4, что указывает на большой запас прочности и неэффективное применение такой номенклатуры материала [3-5]. Далее получены результаты вычислений эксплуатационных параметров металлоконструкции башни нории (масса, коэффициент устойчивости) в зависимости от геометрических характеристик используемого металлопроката.

Предполагается, что используется равнополочный уголок ГОСТ 8509-93. Варьируются его размеры: ширина полки и толщина. Конструкция башни при этом не изменяется.

В результате численного эксперимента получены значения массы и коэффициента устойчивости для различных параметров уголка (табл.).

Для определения оптимальных параметров уголка был произведен полнофакторный эксперимент [6]. Варьируемые параметры: d – толщина уголка, h – ширина полки.

С использованием средств, предоставляемых математическим пакетом MATLAB, был получен аппроксимирующий многочлен для коэффициента устойчивости k :

$$k = 3,17 - 0,0571dh + 0,0011dh^2,$$

где размеры уголка d и h выражены в миллиметрах.

Используя эту формулу, можно предсказать значение коэффициента устойчивости в зависимости от параметров уголка. Достоверность результата – не ниже 96%.

Таблица

Результаты расчетов при разных размерах уголков

№ п/п	Уголок, мм	Напряжение стоек, МПа	Напряжение раскосов, МПа	Масса, т	Устойчивость
1	63×5	92	16	3,1	7,2
2	63×6	82	13	3,7	8,5
3	75×5	81,6	14	3,75	12,4
4	75×6	69	12	4,4	14,6
5	75×9	47	8	6,5	20,9
6	80×5,5	71	14	4,4	16,5
7	80×6	65	11	4,7	17,9
8	80×8	49	10	6,2	23,1
9	90×6	58	12,5	5,4	25,8
10	90×8	45	10	7	33,2
11	90×9	39	8	7,9	37
12	100×6,5	48	11	6,5	38,4
13	100×8	40	8	7,9	46,1
14	100×10	32	7	9,75	56,3

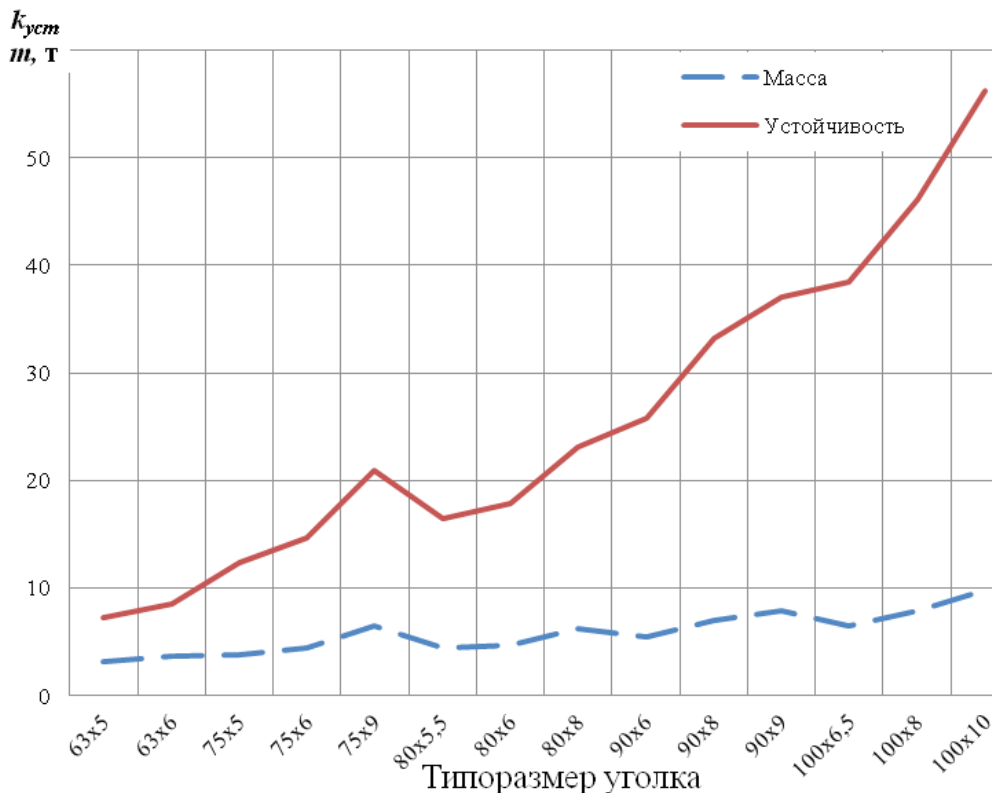


Рис. 2. Параметры массы и устойчивости башни при использовании разных уголков

Выводы

В результате проведения разных вариантов расчетов удалось подобрать сечения стержней и раскосов сопряженных секций так, что было достигнуто оптимальное соотношение между профилем элементов (определяемое в данном случае d и h) металлоконструкции башни, близкой к форме тела равного сопротивления изгибу (с учетом применения уголков уменьшающихся размеров по мере перехода в верхние пояса конструкции).

Подводя итог, можно сказать, что примененный подход к проектированию позволяет существенно сократить время конструкторских действий при разработке аналогичных объектов ввиду открывшейся возможности прогнозировать параметры металлоконструкции. Упрощается процедура выбора материала при разработке новой конструкции [7]. Применение инновационной расчетной программы при проведении многовариантного проектирования опорной конструкции норрии обеспечило оптимальное сочетание технических параметров проектируемого изделия и получения уравнения регрессии для коэффициента устойчивости по геометрическим параметрам стандартного профиля проката.

Библиографический список

1. Варывдин В.В., Романеев Н.А., Безик Д.А. Использование компьютерных программ в процессе проектирования техники для сельского хозяйства // Сборник научных материалов XXVIII Международной науч.-практ. конференции «Конструирование, использование и надежность машин с.-х. назначения». – Брянск: Брянская ГСХА, 2011. – С. 46-50.
2. Романеев Н.А. Расчет металлоконструкций в АРМ WinStructure 3D. – Брянск: Брянская ГСХА, 2011. – 31 с.
3. Варывдин В.В., Романеев Н.А., Безик Д.А., Васильченко М.М. Автоматизированное проектирование машин в процессе совершенствования техники для сельского хозяйства // Сборник научных работ XXVIII Международной науч.-практ. конференции «Конструирование, использование и надежность машин с.-х. назначения». – Брянск: Брянская ГСХА, 2015. – С. 110-116.
4. Варывдин В.В., Романеев Н.А., Безик Д.А., Васильченко М.М. К определению параметров сечения стандартного профиля в опорной конструкции норрии расчетным путем // Вестник БГСХА: Научный журнал. XXVIII Брянск: Изд-во Брянской ГСХА. – № 5/2013. – С. 30-36(35).

5. Варывдин В.В., Романеев Н.А., Безик Д.А., Васильченко М.М., Юдина Е.М. О методике оптимизации металлоконструкции башни сушилки // Труды Кубанского ГАУ: Научный журнал. – 2015. – № 5(56). – С. 233-238.

6. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MATLAB6.0/6.1: Специальный справочник. – СПб.: «Питер», 2002. – 608 с.

7. Варывдин В.В., Романеев Н.А., Безик Д.А. Сообщение новых качеств средствам механизации для работы в сельском хозяйстве // Сб. работ межвузовской науч.-практ. конф. «Конструирование, использование и надежность машин с.х. назначения. – Брянск: Изд-во Брянского ГАУ, 2016. – С. 213-219.

Материал поступил в редакцию 09.06.2016 г.

N.A. ROMANEEV, V.V. VARYVDIN, D.A. BEZIK

The Federal state budget educational institution of higher education «Bryansk state agrarian university», Bryansk, Russia

STRESS CALCULATION OF THE NORIA SUPPORT BY THE METHOD OF MACHINES AUTOMATED DESIGN

Conditions of machines operation, particularly agricultural, create certain requirements to the design of blocks and separate elements, their arrangement, the amount of funds involved in the development and launch into production. By means of the computer system allowing using parameters of the model with the purpose to achieve the best constructive ratio there was performed a checking calculation of the noria tower of the drier SP-50. As a controlling instrument there was adopted the domestic innovation methodic of automated designing WinMachine, version Structure 3D allowing solving problems in a wide range of questions. There was given a task of forecasting parameters of standard profile section for new tower designs. For a more accurate specification and approval of the data obtained by means of simulation, for determination of optimal sizes of the angle there was carried out a full-factor experiment. Using the means supplied by the mathematical package MATLAB there was obtained an approximating polynomial for the stability coefficient. Usage of the innovation calculating program when carrying out a multi-variant design of the support noria structure provided the optimal combination of technical parameters of the designed product as well as obtaining of the equation of regression for the coefficient of stability according to geometric indices of the standard profile of the material. There is a real possibility to fulfill calculations according to a number of parameters of the structure: material consumption, tension etc. The accuracy of results is ensured by the method of finite elements which is the basis of the methodology of calculation of the mentioned program. Calculations of the tower structure as an elastic system are made on strength and stability. Leaving load factor and stability coefficient on a quite high level the authors succeeded to decrease metal quantity of the tower for noria of height 22 m and capacity 50 t/h by 2.5 t.

Tower, noria, strength, stability, metal structure, angle, cross-section.

Reference

1. Varyvdin V.V., Romaneev N.A., Bezic D.A. Ispoljzovanie compjuterных program v protsesse proektirovaniya tehniki dlya sel'skogo hozyaistva // Sbornik nauchnyh materialov XXVIII Mezhdunarodnoj nauch. – pract.

Сведения об авторах

Романеев Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механики и основ конструирования Брянского ГАУ; 243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, 2а; e-mail: romaneev_nikolai@mail.ru.; тел.: 8-920-605-03-14.

Варывдин Владимир Васильевич, кандидат технических наук, профессор кафедры механики и основ конструирования Брянского ГАУ; 243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, 2а; тел.: 8-960-553-81-60.

Безик Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры электроники и автоматики Брянского ГАУ; 243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, 2а; e-mail: bda20101@yandex.ru; тел.: 8-953-271-27-26.

conferentsii «Construirovanie, ispoljzovanie i nadezhnostj mashin s. – h. naznacheniya». – Bryansk: Bryanskaya FSHA, 2011. – S. 46-50.

2. **Romaneev N.A.** Raschet metalloconstructsij v APM WinStructure 3D. – Bryansk Брянск: Bryanskaya GFSHA, 2011. – 31 s.

3. **Varyvdin V.V., Romaneev N.A., Bezic D.A., Vasylichenko M.M.** Avtomatizirovanoe proectirovanie mashin v protsesse sovershenstvovaniya tehniki dlya seljskogo hozyajstva // Sbornik nauchnyh rabot XXVIII Mezhdunarodnoj nauch.-pract. konferentsii «Construivovanie, ispoljzovanie i nadezhnostj mashin s.-h. naznacheniya». – Bryansk: Bryanskaya GSHA, 2015. – S. 110-116.

4. **Varyvdin V.V., Romaneev N.A., Bezic D.A., Vasylichenko M.M.** K opredeleniyu parametrov secheniya standartnogo profilya v opornoj constructsii norii raschetnym putem // Vestnik BGSHA: Nauchny zhurnal. XXVIII Bryansk: Izd-vo Bryanskoj GSHA. – № 5/2013. – S. 30-36(35).

5. **Varyvdin V.V., Romaneev N.A., Bezic D.A., Vasylichenko M.M., Yudina E.M.** O metodike optimizatsii metalloconstructsii bashni sushilki // Trudy Kubanskogo GAU: Nauchny zhurnal. – 2015. – № 5(56). – S. 233-238.

6. **Djaconov V.P., Abramenkova I.V.** MATLAB6.0/6.1: Spetsialjny spravochnik. – SPb.: «Peter», 2002. – 608 s.

7. **Varyvdin V.V., Romaneev N.A., Bezic D.A.** Soobshchenie novyh kachestv sredstvam mehanizatsii dlya raboty v seljskom hozyajstve // Sb. Rabot mezhvuzovskoj nauch.-pract.

conf. «Construivovanie, ispoljzovanie i nadezhnostj mashin s.-h. naznacheniya». – Bryansk: Izd-vo Bryanskogo GAU, 2016. – S. 213-219.

The material was received at the editorial office
09.06.2016

Information about the authors

Romaneev Nikolai Alexandrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of mechanics and bases of designing of the Bryansk SAU; 243365, Bryanskaya area, Vygonichsky region, s. Kokino, ul. Sovetskaya, 2a; e-mail: romaneev_nikolai@mail.ru.; tel.: 8-920-605-03-14.

Varyvdin Vladimir Vasiljevich, candidate of technical sciences, professor of the chair of mechanics and bases of designing of the Bryansk SAU; 243365, Bryanskaya area, Vygonichsky region, s. Kokino, ul. Sovetskaya, 2a; tel.: 8-960-553-81-60.

Bezic Dmitry Alexandrovich, candidate of technical sciences, senior researcher of the chair of electronics and automatics of the Bryansk SAU; 243365, Bryanskaya area, Vygonichsky region, s. Kokino, ul. Sovetskaya, 2a; bda20101@yandex.ru; tel.: 8-953-271-27-26.