

судов / И.К. Лебедев [и др.] // Крылья Родины. Национальный авиационный журнал. – 2016. – № 1 – 2. – С. 76 – 77.

19. Report No. 0810-25584. „ FAILURE ANALYSIS OF A COMPOSITE WRAP ON A COMPRESSED NATURAL GAS TANK FROM PGW #3436”. Stork Technimet, Inc., December 8, 2008.

**Калинников Александр Николаевич**, зав. лабораторией, Межотраслевой инженеринговый центр «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5.

Тел.: (499) 263-63-91.

**Лебедев Игорь Константинович**, канд. техн. наук, ООО «Системы армированных фильтров и трубопроводов» («САФИТ»). Россия.

**Мороз Николай Григорьевич**, канд. техн. наук, ООО «Системы армированных фильтров и трубопроводов» («САФИТ»). Россия.

141351, Московская обл., Сергиево-Посадский р-н, д. Жучки, 2д.

Тел.: (495) 989-48-42.

**Ключевые слова:** баллоны высокого давления; стеклопластиковая оболочка; высокопрочный углепластик; малоцикловая прочность; коррозионная усталость.

## FEATURES OF SELECTING A COMPOSITE MATERIAL FOR METAL-COMPOSITE HIGH-PRESSURE BOTTLES

**Kalinnikov Alexander Nikolayevich**, Head of laboratory, Intersectoral Engineering Center “Composites of Russia”, Bauman Moscow State Technical University. Russia.

**Lebedev Igor Konstantinovich**, Candidate of Technical Sciences, JSC “Reinforced Filters and Pipelines Systems” (SAFIT). Russia.

**Moroz Nikolai Grygoryevich**, Candidate of Technical Sciences, JSC “Reinforced Filters and Pipelines Systems” (SAFIT). Russia.

**Keywords:** high-pressure bottles, glass-reinforced plastic shell, high-strength carbon-fiber-reinforced plastic, low-cycle strength, corrosive fatigue.

*The paper considers matters of selecting a composite material as a part of metal-composite high-pressure bottles to be used in aero-space engineering. It is shown that glass-reinforced plastic, which is the most used now for these purposes, in combination with a steel liner favors the growth of low-cycle fatigue and corrosive cracking of materials under conditions of manufacturing and operating. It is shown that characteristics of metal-composite bottles can be improved by using high-strength and high-modulus carbon-fiber-reinforced plastic as a material of the load-bearing shell. The results of creating high-efficient superlight metal-composite bottles with the load-bearing carbon-reinforced plastic shell and the thin-walled welded stainless steel liner have been presented.*

УДК 631.55:631.354

## К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО ДЕЛИТЕЛЯ ПОРЦИОННОЙ ЖАТКИ

**КОНСТАНТИНОВ Михаил Маерович**, Оренбургский государственный аграрный университет

**ГЛУШКОВ Иван Николаевич**, Оренбургский государственный аграрный университет

**РАХИМЖАНОВА Ильмира Агзамовна**, Оренбургский государственный аграрный университет

**ГЕРАСИМЕНКО Игорь Владимирович**, Оренбургский государственный аграрный университет

*Обоснована актуальность применения валковой порционной жатки на уборке зерновых культур, рассмотрены ее общие конструктивные особенности и суть технологического процесса. Рассмотрена сущность отвода срезанной хлебной массы от колес мобильного энергетического средства во время работы жатки, а также конструкция и технология применяемых для этого устройств. Представлены исследования по установлению оптимальных параметров шнекового делителя порционной жатки, являющегося основной составляющей устройства для отвода хлебной массы. Приведены установленные оптимальные конструктивные и режимные параметры шнекового делителя, при которых обеспечивается корректное функционирование устройства для отвода хлебной массы от колес мобильного средства.*

**Введение.** Уборка урожая – важный и ответственный процесс в цепочке возделывания зерновых культур. Особую актуальность данный момент приобретает в условиях низкоурожайных хлебов, что на протяжении последних лет, в частности, актуально для степной зоны России (Оренбургская область, юг Челябинской области, степная часть Ставрополя, Саратовской, Самарской областей и др.) и северного Казахстана [2, 8, 11].

Работать в подобных условиях целесообразно по раздельной технологии, в целях повышения эффективности которой в Оренбургском ГАУ

была разработаны валковая порционная жатка и ее модификации [5–7].

Цель исследования – выявить и обосновать оптимальные параметры шнекового делителя устройства отвода хлебной массы от колес мобильного энергетического средства (МЭС), входящего в состав порционной жатки.

Задачи исследования: обосновать целесообразность применения порционной жатки на уборке зерновых культур и описать ее технологический процесс; охарактеризовать сущность устройств для отвода хлебной массы от колес



мобильного средства, установленных на порционной жатке; провести исследования по выявлению оптимальных параметров шнекового делителя устройства для отвода хлебной массы как наиболее важной его составляющей.

**Методика исследований.** Технологический процесс названной выше жатки включает в себя накопление скошенной массы на ленте транспортера и последующую ее выгрузку на стерню в порционный валок (рис. 1). Масса после скашивания режущим аппаратом с помощью мотвила укладывается на транспортер и на устройства для ее отвода от колес МЭС. Данные устройства непрерывно сдвигают скошенную массу на слой, находящийся на транспортере. В момент достижения полосы формирования валка порция выгружается и укладывается на стерню, пристыковываясь к сгруженным при предыдущем проходе.

Более подробно конструкция и технология работы порционной жатки, а также обоснование режимов и параметров ее функционирования рассмотрены в [1, 4, 9].

Для перемещения срезанных стеблей от технологических разрывов транспортера порционной жатки, соответствующих расположению колес МЭС, целесообразно применять устройства отвода массы, которые представляют собой шнековые делители (рис. 2), имеющие относительно большой наружный диаметр, и трубчатый кожух меньшего диаметра, покрывающий вал, передающий вращение лопастям делителя [3].

Витки шнеков могут быть правого и левого направления [10].

При условии, что коэффициент заполнения равен единице, шнек может переместить в единицу времени объем материала, м<sup>3</sup>/с:

$$V_0 = \pi(D_1^2 - D_2^2) \frac{nt_0}{4}, \quad (1)$$

где  $n$  – частота вращения шнека, с<sup>-1</sup>;  $t_0$  – шаг спирали (0,45÷0,50 м).

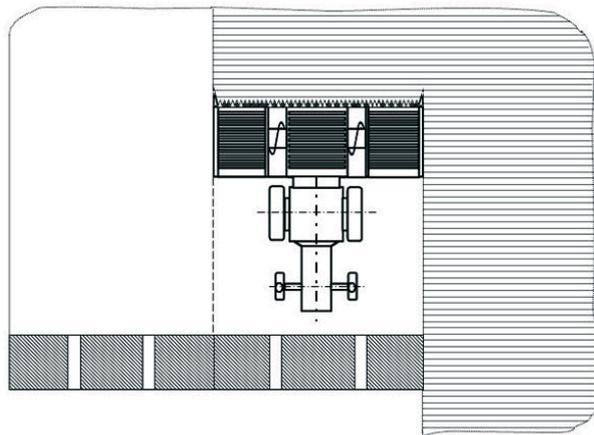


Рис. 1. Схема технологического процесса порционной жатки

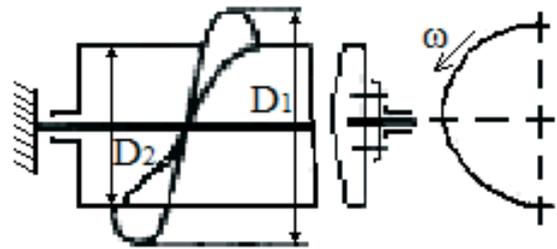


Рис. 2. Шнековый делитель

Масса стеблей, поступающая в кольцевой промежуток шнека, определяется следующей зависимостью:

$$q_{\Pi} = 0,01 B v_{\text{м}} Q, \quad (2)$$

где  $B$  – ширина захвата жатки, м;  $v_{\text{м}}$  – скорость движения жатвенного агрегата, м/с;  $Q$  – урожайность хлебостоя на поле, ц/га.

Запишем также выражение толщины слоя хлебной массы на транспортере перед выгрузкой, соответствующей технологическим требованиям [3]:

$$\delta = \frac{0,01 B v_{\text{м}} Q}{\gamma l_{\text{с}} v_{\text{т}}}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – плотность слоя стеблей, кг/м<sup>3</sup>;  $l_{\text{с}}$  – средняя длина срезанных стеблей, м;  $v_{\text{т}}$  – скорость движения транспортера порционной жатки, м/с.

Тогда, воспользовавшись зависимостями (1) и (3) и допуская, что стебли распределены равномерно, можно определить плотность массы, транспортируемой шнеками, кг/м<sup>3</sup>:

$$\gamma_0 = \frac{q_{\Pi}}{V_0} = \frac{0,04 B v_{\text{м}} Q}{\pi(D_1^2 - D_2^2) n t_0}. \quad (4)$$

Проведенные исследования показывают, что по сравнению с плотностью при свободной укладке стеблей, рассматриваемая плотность в 1,5–2 раза меньше. Это происходит потому, что к стеблям, уже находящимся на транспортере, присоединяются вновь срезанные, за счет чего масса в режиме накопления в некоторой степени спрессовывается, а стебли, контактирующие с одним витком шнека, не поджимаются стеблями, перемещаемыми следующим витком. К тому же направление перемещения стеблей шнеком можно считать перпендикулярным к направлению движения транспортера, что препятствует плотному контакту при соединении этих потоков хлебной массы.

Транспортирующая способность шнека во многом зависит от зазора между его витками и обшивкой корпуса. Обычно его устанавливают равным 5–15 мм. Следует отметить, что при выходе зазора из данных значений возможно про-





скальзывание витков по растительной массе при излишне укрупненном зазоре, а при слишком малом его значении – забивание, заклинивание и обмолот массы.

**Результаты исследований.** Шнеки перемещают на ленту транспортера хлебную массу, которая оказалась на пути движения колес мобильного средства. Срезанная масса поступает на шнек со скоростью  $v$ , переданной ей от мотовила жатки. Если учесть, что масса от контакта с мотовилом до контакта со шнеком проходит весьма незначительный путь, то ее скорость можно считать равной окружной скорости планки мотовила  $u$  ( $v=u$ ). Для уже существующей жатки будет справедливо выразить окружную скорость планки мотовила (а соответственно, и скорость хлебной массы, поступающей на шнек) следующим образом:

$$u = v = \frac{3Rv_m}{3R-l}, \quad (5)$$

где  $R$  – радиус мотовила, м;  $v_m$  – рабочая скорость машины, м/с;  $u$  – окружная скорость планки мотовила, м/с;  $l$  – средняя высота стеблестоя, м.

При проектировании мотовила радиусом задаются исходя из соотношения предполагаемых рабочей скорости агрегата  $v_m$  и окружной скорости планки мотовила  $u$  ( $u=1,2 \div 1,8 v_m$ ) [3, 8, 9, 11].

Как было отмечено выше, шнеки на порционной жатке применяются для перемещения потока стеблей, отводимых от колес МЭС и поступающих к шнекам со скоростью  $v$  (рис. 3). Другими словами, шнеки в данном случае призваны исключить потери срезанной массы от ее попадания под колеса МЭС при выгрузке валка. Однако важно, чтобы и работа самих шнеков не вела к потерям зерна. В первую очередь шнек не должен травмировать движущуюся массу и способствовать преждевременному выходу зерна из колоса. Данные негативные моменты могут произойти, если перемещаемая масса будет по ходу своего движения излишне контактировать с задней стенкой устройства отвода хлебной массы от колес, расположенной позади шнека для предотвращения выхода стеблей за пределы жатки. По сути, при этом будет происходить вытирание зерна из колосьев и излишнее увеличение количества срезанной массы по ходу движения витков шнека (это ведет к перегрузке и забиванию шнеков).

Рассмотрим условия, которые должны

выполняться для предотвращения данных негативных последствий. Обозначим осевую скорость шнека как  $v_{ш}$  (рис. 3). Тогда, учитывая геометрические размеры ширины  $c$  части транспортера, на которую шнек перемещает массу (ширина боковой ленты транспортера порционной жатки), и ширины захвата шнека  $b$ , можно записать условие, при котором стебли не будут испытывать излишнего трения о названную выше стенку. На схеме, представленной на рис. 3, стенка, располагающаяся за шнеком, обозначена линией BC. Соответственно необходимо, чтобы направление результирующей скорости  $v_p$  для самого удаленного от центра стебля A не пересекалось с линией BC, что возможно при следующем соотношении:

$$\frac{v_{ш}}{v} \geq \frac{h-c}{L}, \quad (6)$$

или, с учетом схемы, представленной на рис. 3, и закономерности (6):

$$\frac{v_{ш}}{u} \geq \frac{b}{L}, \quad (7)$$

где  $v_{ш}$  – осевая скорость витков шнека, м/с;  $v$  – скорость поступления стеблей на шнек, м/с;  $h$  – расстояние от края шнека до края части транспортера, на которую поступает хлебная масса, перемещаемая шнеком, м;  $c$  – ширина части транспортера, на которую шнек перемещает массу, м;  $u$  – окружная скорость планки мотовила, м/с;  $b$  – ширина захвата шнека (рабочая длина шнека), м;  $L$  – расстояние от дальней точки витка шнека до задней стенки устройства отвода хлебной массы от колес, м.

Осевая скорость витков определяется следующим выражением:

$$v_{ш} = nt_0. \quad (8)$$

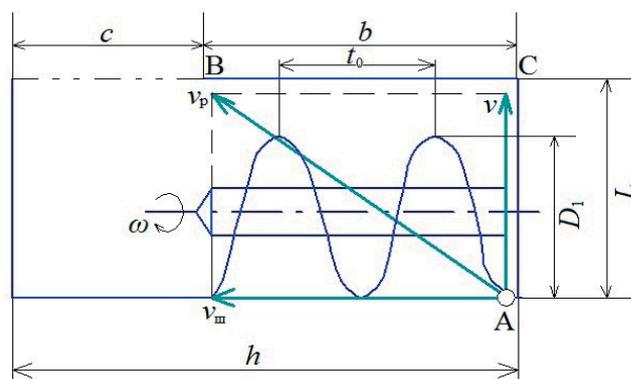


Рис. 3. Анализ режимов работы шнека устройства отвода массы от колес

Учитывая это, из условия (7) найдем оптимальную частоту вращения шнека в зависимости от габаритных параметров узлов жатки, шнека и окружной скорости планки мотовила:

$$n \geq \frac{bu}{Lt_0} \quad (9)$$

Проведенные исследования и расчеты показали, что оптимальные значения данного показателя составляют  $2,5 \div 3,2 \text{ с}^{-1}$ , при этом для нашего случая диаметр спирали шнеков следует выбирать из интервала значений  $0,40 \div 0,50 \text{ м}$ , а шаг спирали –  $0,33 \div 0,47 \text{ м}$ .

Помимо названных выше характеристик, шнек устройства отвода массы, устанавливаемый на порционную жатку, должен удовлетворять ряду требований: обеспечивать пропускную способность (подачу хлебной массы в секунду), подавать массу равномерно по ширине и во времени; не наматывать растения на корпус и не перемалывать их через шнек.

Пропускная способность шнека:

$$q_{\text{шс}} = \left[ \frac{\pi(D_1 + \Delta)^2}{4} - \frac{\pi D_2^2}{4} \right] \cdot \varphi t_0 n \rho_c \psi \quad (10)$$

где  $\Delta$  – зазор между лентой шнека и кожухом, м;  $\varphi$  – угол транспортирующей части шнека;  $\rho_c$  – плотность соломенной массы (для условий Южного Урала за последние 5 лет в диапазоне  $14 \div 23 \text{ кг/м}^3$ );  $\psi$  – коэффициент, учитывающий заполнение рабочего пространства шнека соломенной массой и скорость ее движения (исходя из условий работы был принят равным 0,3).

Значение пропускной способности спиральной части шнека не должно быть меньше значения подачи:

$$q_{\text{шс}} \geq q_c \quad (11)$$

Выразим подачу  $q_c$  в следующем виде:

$$q_c = \frac{bv_m Q}{100} \quad (12)$$

Исходя из выражения (12), условие (11) для пропускной способности шнека примет вид

$$q_{\text{шс}} \geq \frac{bv_m Q}{100} \quad (13)$$

Таким образом, подача шнекового делителя зависит от ширины захвата шнека  $b$ , скоростного режима движения жатвенного агрегата  $v_m$  и урожайности убираемой культуры  $Q$ .

**Заключение.** Проанализировав приведенные выражения и сопоставив их с результатами полевого эксперимента, можно назвать оптимальные значения основных конструктивных параметров шнека устройства для отвода массы от колес МЭС, устанавливаемого на порционной жатке: диаметр спирали –  $0,40 \div 0,44 \text{ м}$ , диаметр кожуха –  $0,21 \div 0,28 \text{ м}$ ; шаг спирали –  $0,37 \div 0,46 \text{ м}$ ; зазор между спиралью шнека и кожухом –  $0,011 \div 0,016 \text{ м}$ ; угол транспортирующей части шнека  $88 \div 94^\circ$ ; оптимальная частота вращения шнека –  $2,5 \div 3,2 \text{ с}^{-1}$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика выгрузки валка с транспортера порционной жатки / В.Г. Петько [и др.] // Известия ОГАУ. – 2017. – № 2 (64). – С. 69–72.
2. Милюткин В.А., Толпекин С.А., Стребков Н.Ф. Направления совершенствования технологии уборки сельскохозяйственных культур и конструкций жаток и зерноуборочных комбайнов // Фундаментальные и прикладные исследования в странах ЕС и СНГ Proceedings of the VI International Academic Congress. – М., 2016. – С. 738–744.
3. Направления совершенствования процесса формирования валков хлебной массы / М.М. Константинов [и др.] // Труды сотрудников и преподавателей факультета механизации сельского хозяйства. Т. 6. – Оренбург, 2003. – С. 46–49.
4. Обоснование режимных и конструктивных параметров вентилятора устройства для сбора свободного зерна порционной жатки / М.М. Константинов [и др.] // Актуальные проблемы научно-технического обеспечения процессов и производств в АПК. – Новосибирск, 2016. – С. 74–78.
5. Патент 2523847 Российская Федерация, МПК А01D34/00 Валковая жатка / Константинов М.М., Пашинин С.С., Глушков И.Н., Кондрашов А.Н. заявл. 04.05.2012; опубл. 27.07.2014, Бюл. № 21.
6. Патент 2493685 Российская Федерация, МПК А01D34/04, А31D57/18 Валковая порционная жатка с устройством образования стерневых кулис / Константинов М.М., Глушков И.Н. и др. заявл. 23.03.2012; опубл. 27.09.2013, Бюл. № 27.
7. Патент 2582360 Российская Федерация, МПК А01D57/18, А01D34/00 Валковая порционная мульчирующая жатка / Константинов М.М., Глушков И.Н. и др. заявл. 31.12.2014; опубл. 27.04.2016, Бюл. № 12.
8. Пути совершенствования зерноуборочных процессов в условиях Южного Урала / А.П. Ловчиков [и др.] // Аграрная наука и образование в условиях становления инновационной экономики: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 2/ под ред. Г.В. Петровой. – Оренбург, 2012. – С. 76–80.
9. Совершенствование конструкции транспортирующего устройства порционной жатки / М.М. Константинов [и др.] // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Оренбург, 2017. – С. 85–89.
10. Старцев А.С., Попов М.Ю. Исследование влияния режимных параметров шнека-мотовила на потери семян подсолнечника при уборке // Научное обозрение. – 2011. – № 6. – С. 131–136.
11. Шепелев С.Д., Окунев Г.А., Маринин С.П. Рекомендации по совершенствованию технологических процессов уборки сельскохозяйственных культур (на



примере уборки зерновых и силосных культур) / М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Департамент научно-технологической политики и образования. – Челябинск, 2010.

**Константинов Михаил Маерович**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Механизация ТП в АПК», Оренбургский государственный аграрный университет. Россия.

**Глушков Иван Николаевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехнологии и электрооборудование», Оренбургский государственный аграрный университет. Россия.

**Рахимжанова Ильмира Агзамовна**, д-р с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой «Электротехнологии и электрооборудование», Оренбургский государственный аграрный университет. Россия.

**Герасименко Игорь Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механизация ТП в АПК», Оренбургский государственный аграрный университет. Россия.

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18.  
Тел.: 8 (3532) 77-39-51.

**Ключевые слова:** порционная жатка; шнековый делитель; хлебная масса; мобильное энергетическое средство.

## TO THE QUESTION OF JUSTIFICATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF THE SCREW DIVIDER OF THE HEADER PORTION

**Konstantinov Mikhail Maerovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Mechanization of Technological Processes in AIC", Orenburg State Agrarian University. Russia.

**Glushkov Ivan Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Electrotechnology and Electrical Equipment", Orenburg State Agrarian University. Russia.

**Rakhimzhanova Ilmira Agzamovna**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the chair "Electrotechnology and Electrical Equipment", Orenburg State Agrarian University. Russia.

**Gerasimenko Igor Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Mechanization of Technological Processes in AIC", Orenburg State Agrarian University. Russia.

**Keywords:** header portion; screw divider; beveled grain stalks; mobile energy means.

*The relevance of the portion harvester for harvesting grain crops split method is substantiated; its main structural features and considers the essence of the technological process are described. The article deals with the essence of the process of preventing contact of beveled grain stalks with wheels of the mobile energy means during the operation of the header, as well as the design and technology of the devices used for this purpose. The research on the establishment of the optimal parameters of the screw divider of the portion header, which is the main component of the device for the removal of bread mass, is presented. The established optimal design and operating parameters of the screw divider, which provides the correct operation of the device for the removal of bread mass from the wheels of the mobile device, are presented.*

УДК 669.018-419: 629.735.05/.06-464

## ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ ДАВЛЕНИЯ С ТОНКОСТЕННЫМ ЛЕЙНЕРОМ

**ЛЕБЕДЕВ Игорь Константинович**, ООО «Системы армированных фильтров и трубопроводов»

**МОРОЗ Николай Григорьевич**, ООО «Системы армированных фильтров и трубопроводов»

**КАЛИННИКОВ Александр Николаевич**, Межотраслевой инженеринговый центр «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

*Рассмотрена постановка задачи рационального проектирования металлокомпозитного баллона давления, предполагающая определение формы образующей баллона, которая обеспечивает допустимый уровень деформируемости лейнера при заданном ресурсе эксплуатации баллона. Показано, что для окончательно выбранной схемы армирования используют метод ступенчатого нагружения с определением напряжения и деформации, возникающих в материалах конструкции при ее нагружении до уровня испытательного давления.*

**Введение.** При изготовлении баллонов с тонкостенным металлическим лейнером толщина стенки последнего составляет 0,1–0,4 от минимальной толщины композиционного материала на днище. Опыт эксплуатации такого рода металлокомпозитных баллонов давления показывает, что при циклическом воздействии внутреннего давления работоспособность баллона определяется деформированным состоянием металлического лейнера при воздействии циклического нагружения. Согласно деформационным критериям типа Коф-

фина–Менсона [1], использующихся для оценки малоциклового усталости металлов, число циклов нагружения баллона обратно пропорционально величине пластической деформации, развивающейся в металлическом лейнере при нагружении. В связи с этим рассмотрим постановку задачи рационального проектирования металлокомпозитного баллона давления, предполагающую определение формы образующей баллона, которая обеспечивает допустимый уровень деформируемости лейнера при заданном ресурсе эксплуатации баллона.

