

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-5-359-367>

УДК 621.791

## Системный подход к изготовлению неразъемных соединений

Чл.-кор. НАН Беларуси, докт. техн. наук, проф. В. К. Шелег<sup>1)</sup>,  
кандидаты техн. наук Е. Ю. Латыпова<sup>2)</sup>, Ю. А. Цумарев<sup>2)</sup>, магистр Е. Н. Цумарев<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

<sup>2)</sup>ООО «Вебер Комеханикс» (Москва, Российская Федерация)

© Белорусский национальный технический университет, 2018  
Belarusian National Technical University, 2018

**Реферат.** Предложен системный подход к изготовлению неразъемных соединений, основанный на объединении технических решений в области сварки, пайки, склеивания и других технологий, который включает в себя не только непосредственное выполнение соединения, но и его конструирование, подготовительные операции, а также мероприятия после образования соединения. Подход основан на принципах необходимого разнообразия, обратной связи, иерархичности и декомпозиции, что обеспечивает высокую эффективность разрабатываемых технических решений, возможность постановки и успешного разрешения проблем в области создания неразъемных соединений. Для успешной реализации системного подхода предлагается учитывать ряд аспектов: системно-структурный, заключающийся в выяснении внутренних связей и зависимостей между элементами данной системы, что позволяет получить представление о внутренней организации (строении) исследуемой системы; системно-функциональный, предполагающий выявление функций, для выполнения которых создается система; системно-целевой, означающий необходимость научного определения целей и подцелей системы, их взаимной увязки между собой; системно-ресурсный, который заключается в тщательном выявлении ресурсов, требующихся для функционирования системы и решения системой той или иной проблемы; системно-интеграционный, состоящий в определении совокупности качественных свойств системы, обеспечивающих ее целостность и особенность; системно-коммуникационный, требующий выявления внешних связей данной системы с другими, т. е. ее связей с окружающей средой; системно-исторический, позволяющий выяснить условия возникновения исследуемой системы, пройденные ею этапы, современное состояние, а также возможные перспективы развития. На базе системного подхода разработаны новые конструкции соединений смешанного (гибридного) типа, приведены примеры и классификация таких соединений.

**Ключевые слова:** системный подход, неразъемные соединения, необходимое разнообразие, декомпозиция, обратная связь, гибридные соединения

**Для цитирования:** Системный подход к изготовлению неразъемных соединений / В. К. Шелег [и др.] // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 5. С. 359–367. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-5-359-367>

## Systematic Approach to Producing Non-Detachable Connections

V. K. Sheleg<sup>1)</sup>, E. Yu. Latypova<sup>2)</sup>, Yu. A. Tsumarev<sup>2)</sup>, E. N. Tsumarev<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

<sup>2)</sup>JSC “Veber Komekhaniks” (Moscow, Russian Federation)

**Abstract.** The paper proposes a systematic approach to producing non-detachable connections which is based on unified technical solutions in the field of welding, soldering, gluing and other technologies. The given approach includes not only direct execution of the connection but its designing, preparatory operations and also measures carried out after connection

### Адрес для переписки

Шелег Валерий Константинович  
Белорусский национальный технический университет  
ул. Б. Хмельницкого, 9,  
220013, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 292-74-54  
metech@bntu.by

### Address for correspondence

Sheleg Valery K.  
Belarusian National Technical University  
9 B. Hmelnitzkogo str.,  
220013, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 292-74-54  
metech@bntu.by

producing. The proposed approach is also based on the principles of the required diversity, feedback, hierarchy and decomposition that ensures high efficiency of the developed technical solutions, possibility for setting-up and successful solution of problems in the field of producing non-detachable connections. In order to ensure a successful realization of systematic approach it is proposed to take into account a number of aspects, including the following: systematic and structural aspect that presupposes determination of internal relations and dependences between elements of the given system and it permits to obtain an overview about internal structure (composition) of the investigated system; systematic and functional aspect that presupposes determination of functions, and the system is created for performing these functions; systematic and purposeful aspect that signifies a necessity of scientific determination of system goals and sub-goals, their harmonization between themselves; systematic and resource aspect that presupposes thorough determination of the resources which are required for system performance and solution of various problems with the help of the system; systematic and integration aspect that presupposes to determine a complex of system qualitative properties which ensure its integrity and specificity; systematic and communication aspect that requires determination of external relations of the given system with others that is its relations with the environment; systematic and historical aspect that permits to determine conditions for creation of the investigated system, its past stages, modern state and also possible prospects of development. New connection designs of combined (hybrid) type have been developed on the basis of the systematic approach and the paper presents examples and classification of such connections.

**Keywords:** systematic approach, non-detachable connections, required diversity, decomposition, feedback, hybrid connections

**For citation:** Sheleg V. K., Latypova E. Yu., Tsumarev Yu. A., Tsumarev E. N. (2018) Systematic Approach to Producing Non-Detachable Connections. *Science and Technique*. 17 (5), 359–367. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-5-359-367> (in Russian)

### Принципы системного подхода в технике создания неразъемных соединений

Техника создания неразъемных соединений является важнейшим элементом современного производства, и ее развитие ставит перед специалистами сложные задачи технологического и конструкторского характера. Эти задачи тесно связаны с проблемами, которые возникают из-за постоянного усложнения условий эксплуатации изделий, разработки и широкого внедрения новых конструкционных материалов, расширения объемов применения защитных покрытий, а также стремления к максимальной экономичности технологического процесса. Возрастает также важность проблем экологического характера. Для их успешного решения был разработан комплексный подход [1, 2], при котором испытания неразъемных соединений рассматриваются как важная составляющая системы формирования их свойств [1].

Кроме того, предложено рассматривать получение неразъемных соединений как единый процесс взаимодействия технических решений в области сварки, пайки, склеивания и механического скрепления в совокупности с подготовительными операциями [2]. Этот перечень можно дополнить мероприятиями, осуществля-

емыми после непосредственного образования неразъемного соединения (снятие остаточных деформаций и напряжений, удаление брызг расплавленного металла, термическая обработка для устранения нежелательных структур, устранение концентраторов напряжений).

Таким образом, рекомендации [1, 2] являются предпосылками для системного подхода к технике создания неразъемных соединений, который коренным образом повышает эффективность управления в любой сфере деятельности. Системный анализ показывает, что в каждой оптимально организованной системе должны быть (а в естественных системах обязательно присутствуют) внутренние механизмы саморегулирования и саморазвития. Попытки организовать систему и управлять ею вопреки этим механизмам приводят к застою и деградации системы.

По современным представлениям, системный подход – это способ организации действий, направленных на выявление закономерностей и взаимосвязей внутри исследуемого объекта с целью более эффективного его использования [3]. При этом системный подход – не только метод решения задач, но и метод их постановки, что позволяет поднять технологии на более высокий уровень по сравнению с традиционным подходом к решению проблем [3].

Анализ опубликованных литературных данных показывает, что многие важные вопросы, связанные с разработкой системного подхода к проектированию и созданию неразъемных соединений, до сих пор даже не ставились [1]. В первую очередь следует отметить, что сами способы создания неразъемных соединений (сварка, пайка, механическое соединение либо склеивание) не рассматривались в качестве элементов анализируемой системы. Это упрощало систему, и поэтому не позволяло корректно обосновать выбор способа соединения, в максимальной степени соответствующего заданным условиям [3]. Кроме того, при таком подходе исключалась возможность взаимодействия различных способов создания соединений друг с другом, что неоправданно уменьшает возможное разнообразие при создании проблеморазрешающей системы.

Таким образом, сложившийся подход к выделению системы не соответствует закону необходимого разнообразия [4]. В соответствии с данным законом при увеличении разнообразия решаемой проблемы, обусловленном, например, усложнением условий эксплуатации или появлением новых, более эффективных конструкционных материалов, должно возрасти и разнообразие внутри проблеморазрешающей системы. В противном случае такая система не сможет отвечать задачам управления, выдвигаемым внешней средой, и будет малоэффективной. Отсутствие или недостаточность разнообразия могут привести к нарушению целостности подсистем, составляющих анализируемую систему, а эффективные в прошлом приемы утратят свою действенность [4].

Рост разнообразия, характерный для системного подхода, позволяет в наиболее полной мере реализовать и принцип выбора реше-

ния, который заключается в том, что решение должно приниматься на основе рассмотрения нескольких вариантов. Там, где решение принимается на анализе одного варианта, отсутствуют предпосылки к объективному и оптимальному решению, учитывающему все особенности любого конкретного случая [5].

Характерным примером, показывающим возможности системного подхода в постановке новых научных проблем, является анализ напряженно-деформированного состояния нахлесточных соединений, которые широко применяются в пайке, сварке, склеивании, а также при механическом скреплении деталей. В рамках простого предметного подхода к этой задаче были широко распространены расчетные схемы, которые не соответствовали принципу статического равновесия [6]. В них нахлесточное соединение находилось под действием двух сил, составляющих пару, и только при системном подходе удалось выявить противоречия между элементами системы расчета, породившие серьезную проблему, – невозможность применения прикладных компьютерных программ. После формулировки и постановки проблемы было найдено решение, основанное на системном подходе, который обязательно включает в себя системно-элементный или системно-комплексный аспект (правильное выявление элементов, составляющих данную систему) и определяет ресурс, необходимый для решения проблемы, – теорема о равновесии механической системы под действием двух сил. Все это позволило окончательно сформулировать решение поставленной проблемы: в расчетной схеме обе силы должны быть направлены по одной прямой, проходящей через точки приложения заданных сил (рис. 1) [6–10].

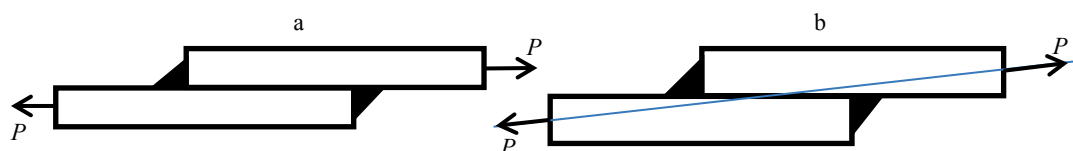


Рис. 1. Расчетные схемы для неразъемных нахлесточных соединений:  
a – традиционная; b – предлагаемая, соответствующая принципу статического равновесия

Fig. 1. Calculation model for non-detachable overlap connections: a – conventional model;  
b – proposed model corresponding to principle of static balance

Для успешной реализации системного подхода необходимо учитывать и другие аспекты [5]:

- системно-структурный, заключающийся в выяснении внутренних связей и зависимостей между элементами данной системы, что позволяет получить представление о внутренней организации (строении) исследуемой системы;
- системно-функциональный, предполагающий выявление функций, для выполнения которых создается система;
- системно-целевой, означающий необходимость научного определения целей и подцелей системы, их взаимной увязки между собой;
- системно-ресурсный, который заключается в тщательном выявлении ресурсов, требующихся для функционирования системы и решения системой той или иной проблемы;
- системно-интеграционный, состоящий в определении совокупности качественных свойств системы, обеспечивающих ее целостность и особенность;
- системно-коммуникационный, требующий выявления внешних связей данной системы с другими, т. е. ее связей с окружающей средой;
- системно-исторический, позволяющий выяснить условия возникновения исследуемой системы, пройденные ею этапы, современное состояние, а также возможные перспективы развития.

Рассматривая проблемные вопросы создания неразъемных соединений с системно-исторической точки зрения, необходимо опираться на основные законы диалектики и, совершен-

ствуя систему, проявлять готовность к своевременному отбрасыванию устаревших и неэффективных ее элементов. Например, в [11] показано, что стандартные испытания паяных соединений на циклическую нагрузку не обеспечивают достоверности получаемых результатов, и предложена методика, основанная на изгибе вращающегося образца. Для реализации этой методики были разработаны конструкции образцов, что позволило не только обеспечить высокую достоверность, но упростило и удешевило исследования, а также дало возможность в полной мере учесть конструктивные особенности исследуемых соединений и технологию их пайки [12] и влияние термических напряжений на результаты испытаний [13].

Другой характерный пример – диалектическое отрицание несимметричного таврового паяного соединения, при конструировании которого была предпринята не вполне корректная попытка снизить концентрацию напряжений и их максимальное значение путем увеличения площади спая. Анализ распределения напряжений, обусловленных действием продольной нагрузки, показал, что многократное увеличение площади спая, характерное для известной схемы, не привело к прогнозируемому снижению величины максимальных напряжений в опасных зонах паяного таврового соединения. Более эффективным оказалось новое техническое решение [14], основанное на использовании симметричной составной заготовки [15] с такой же площадью спая, как у известного соединения, лишенного симметрии (рис. 2).

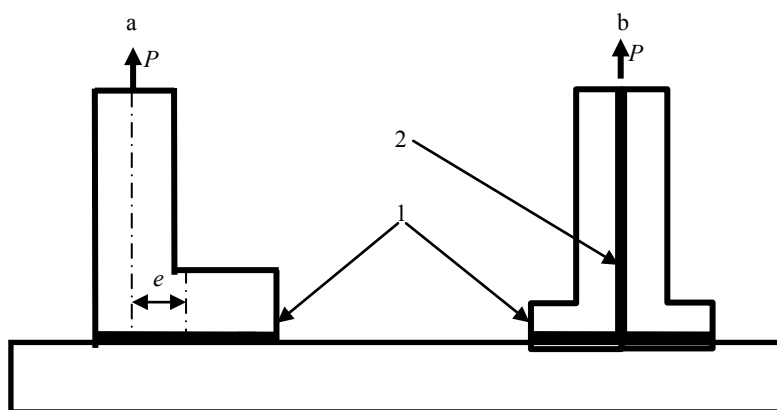


Рис. 2. Схемы тавровых паяных соединений с увеличенной площадью спая: а – известного асимметричного; б – составного симметричного, разработанного на базе системного подхода

Fig. 2. Schemes of tee joints with increased soldered seam area: a – known asymmetric soldered seam; b – combined symmetric soldered seam developed on the basis of systematic approach

Диалектическое отрицание устаревших технических решений не может заканчиваться формулировкой достоверной и корректной научной рекомендации. Оно должно быть формализовано путем внесения соответствующих изменений и дополнений в нормативную документацию, прежде всего, в действующие стандарты [16–18].

Одним из важнейших принципов системного подхода является иерархичность строения, которая заключается в том, что внутри системы можно выделить элементы или подсистемы, связанные друг с другом по принципу подчинения элементов низшего уровня элементам более высокого уровня. Этот принцип позволяет реализовать многоуровневое управление процессом образования неразъемных соединений, характерное для всех организованных систем. Однако он до настоящего времени не нашел широкого применения в технике неразъемных соединений. Особенно важным является правильное определение соотношения между частями системы, которые относятся к технологической сфере, с одной стороны, и совокупностью элементов, определяющих эффективность конструирования, с другой. Здесь важно мнение авторов [19], которые считают, что конструктивные подходы позволяют получать более высокие результаты по несущей способности, надежности и долговечности, а также по способности сопротивляться хрупким разрушениям, чем технологические приемы. Соответственно часть системы, связанная с конструированием и расчетом соединений, должна относиться к более высокому иерархическому уровню в сравнении технологической подсистемой. К сожалению, в настоящее время в технике создания соединений приоритетным является именно технологическое направление. Это особенно характерно для пайки, где практически полностью отсутствуют новые подхо-

ды к конструированию, оценке несущей способности и проведению испытаний соединений. Причина такого состояния – известная из теории управления особенность нижних уровней, которая заключается в том, что они обладают более высокой скоростью реакции и быстротой переработки поступающих сигналов.

Стремление к учету всех факторов, связанных с конструированием и изготовлением неразъемных соединений, приводит к усложнению системы. Поэтому системный подход невозможно реализовать без применения принципа декомпозиции, который позволяет рассматривать анализируемую систему как совокупность независимых друг от друга элементов (подсистем). Тем самым управление сложной системой сводится к отбору взаимосвязанных факторов и расчленению решаемой задачи на ряд более простых последовательных звеньев. Эффективность данного принципа можно показать на примере, описанном в [20], где на основе декомпозиции напряженного состояния [21] разработана рекомендация по специальной подготовке кромок к контактной точечной сварке. Скос кромок соединяемых деталей (рис. 3) позволил осуществить сварку заготовок толщиной  $8 + 8$  мм по режиму, характерному для толщин  $5 + 5$  мм, и за счет четырехкратного уменьшения эксцентриситета приложенных сил повысить прочность соединения в 1,28 раза. При этом более благоприятное распределение рабочих напряжений в предлагаемом соединении создает предпосылки к расширению диапазона толщин для применения клеесварного варианта технологии получения неразъемного соединения. Сравнение традиционного и предлагаемого вариантов соединения показывает, что предлагаемое соединение при толщинах  $8 + 8$  мм обеспечивает эксцентриситет приложенных сил в 2,5 раза меньший, чем в традиционном соединении  $5 + 5$  мм.

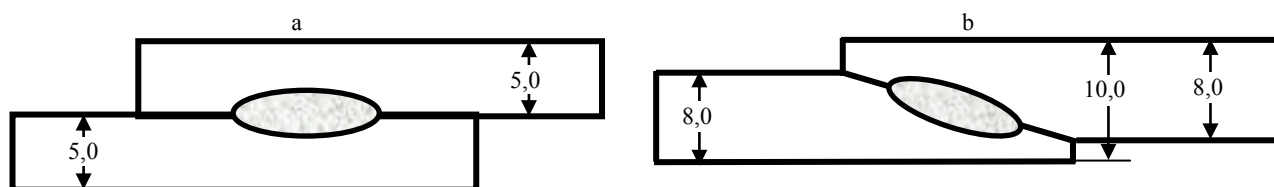


Рис. 3. Схемы точечных сварных соединений:

a – традиционного; b – разработанного на основе декомпозиции напряженного состояния

Fig. 3. Schemes of spot-welded joints: a – conventional spot-welded joint;

b – spot-welded joint developed on the basis of decomposition of stress state

При разработке системного подхода необходимо учитывать, что любая система успешно функционирует и развивается по пути прогресса только тогда, когда в ней имеется обратная связь, для чего в проекте организации системы специально закладываются соответствующие возможности и условия [3–5]. В противном случае неизбежны застой системы, холостое ее функционирование. Из-за отсутствия системного подхода в производстве неразъемных соединений принцип обратной связи, без которого невозможно управление системой на научных принципах, до настоящего времени не нашел должного применения. Основная роль обратной связи состоит в том, что, сообщая органу управления информацию о реальном состоянии объекта и сигнализируя о достигнутом результате, она позволяет осуществлять регулирование в условиях неполной информации о возмущающих воздействиях. Наличие обратной связи придает системе способность к саморегулированию и адаптации [3]. Воздействие входного сигнала на объект, переработка его в выходной сигнал и обратное действие выхода через канал обратной связи на входную величину – все это процессы передачи и переработки информации. Поэтому в системном подходе важную роль должны играть принципы компьютерного моделирования, позволяющие получать необходимую информацию о свойствах создаваемого объекта, например, о его напряженно-деформированном состоянии. Системный подход дает возможность более широко использовать принцип обратной связи за счет включения в систему контрольно-измерительных операций и необходимых испытаний. При этом системное конструирование позволяет реализовывать схемы не только отрицательной и положительной, но и упреждающей обратной связи [3].

### Неразъемные соединения гибридного типа и их классификация

Рассматривая возможное взаимодействие конструктивных форм, характерных для различных способов создания неразъемных соединений, выделим те, которые имеют наиболее широкое применение: сварка плавлением (С),

контактная точечная сварка (Т), пайка (П), склеивание (К) и механическое соединение (М). В результате взаимодействия конструктивных форм образуются новые разновидности неразъемных соединений смешанного (гибридного) типа, обладающие рядом преимуществ по сравнению с традиционными видами. Схематично образование таких соединений приведено на рис. 4, где показано, что каждое из гибридных соединений относится к какому-либо типу, известному из традиционной техники конструирования, т. е. является в целом стыковым, нахлесточным или тавровым. Примеры возможной конкретной реализации принципа взаимодействия конструктивных форм, создаваемых на базе различных технологических процессов, представлены на рис. 5.

Применение пайки для снижения концентрации напряжений, предложенное в [22], приводит к гибриднему сварно-паяному соединению стыкового типа (рис. 5а), которое можно обозначить следующим образом: (С) С–П (стыковое, сварно-паяное). Паяное нахлесточное соединение с упрочняющими стержнями (рис. 5b) [1] можно обозначить как (Н) П–М (нахлесточное, паяно-механическое).

При расширении номенклатуры гибридных соединений предложенная система обозначения может несколько усложниться, например, путем создания гибридных соединений на базе трех технологических процессов. В частности, авторам представляется возможной разработка соединения нахлесточного типа с использованием сварки плавлением, точечной сварки и склеивания. То есть для традиционного клеесварного соединения может оказаться эффективной дополнительная обварка, которая делает систему швов более распределенной с меньшей концентрацией напряжений. При создании гибридного соединения возможна комбинация однородных технологических процессов. Так, соединение, показанное на рис. 2, можно рассматривать как гибридное, если связующий паяный шов 2 в нем выполнить низкотемпературной пайкой, а рабочий шов 1, требующий большей прочности, – высокотемпературной. В этом случае тавровое соединение (рис. 2) приобретает все признаки гибридного паяно-паяного соединения.

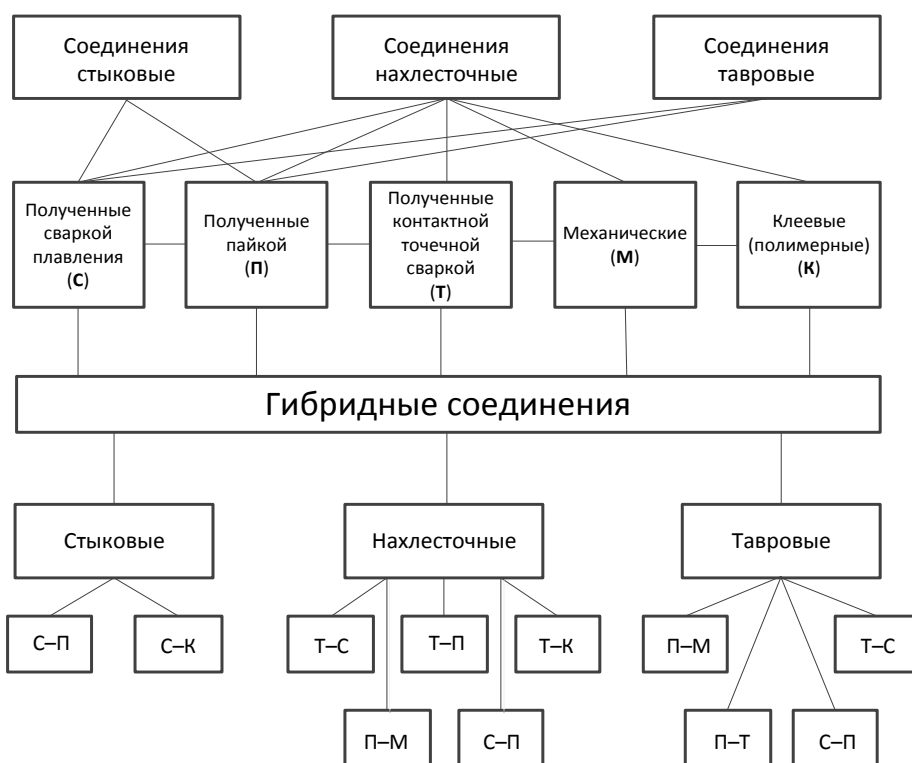


Рис. 4. Схема взаимодействия конструктивных форм и образования соединений гибридного типа  
 Fig. 4. Scheme of design shapes interaction and formation of hybrid-type connections

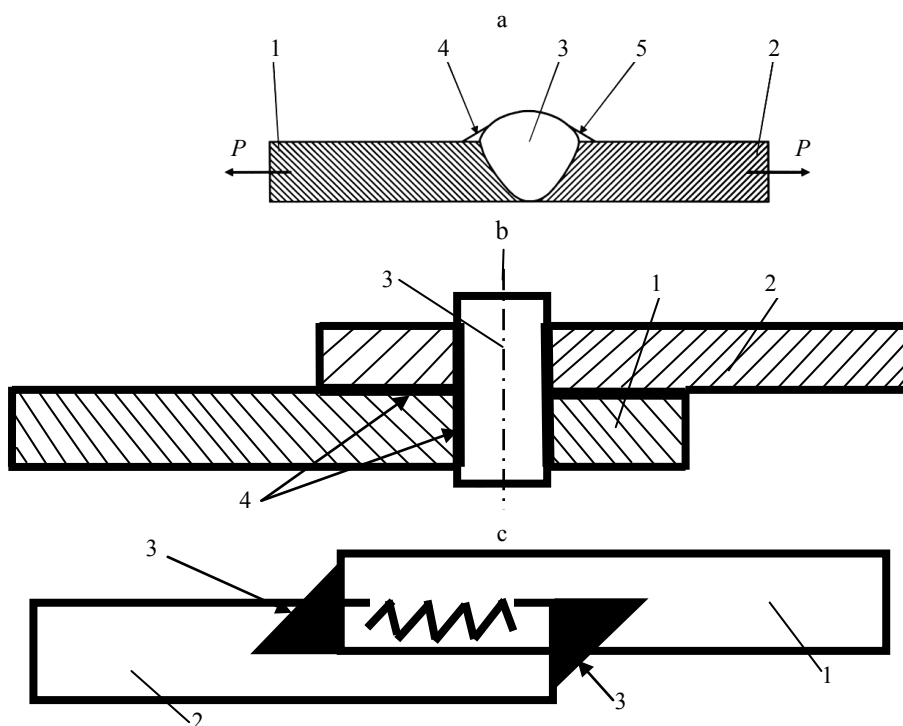


Рис. 5. Схемы гибридных соединений: а – стыковое паяно-сварное: 1, 2 – соединяемые детали; 3 – сварной шов; 4, 5 – напайки; б – нахлесточное паяно-механическое: 1, 2 – соединяемые детали; 3 – упрочняющий стержень; 4 – паяный шов; в – нахлесточное механико-сварное: 1, 2 – соединяемые детали; 3 – сварной шов  
 Fig. 5. Schemes of hybrid connections: а – butt welded-soldered joints: 1, 2 – parts to be connected; 3 – welded joint; 4, 5 – soldering; б – overlap soldered-mechanical connection: 1, 2 – parts to be connected; 3 – hardening rod; 4 – soldered joint; в – overlap welded-mechanical: 1, 2 – parts to be connected; 3 – welded joint

Представляется возможной комбинация двух сварочных процессов при выполнении одного соединения. Так, в ГОСТ 14771–76 представлено тавровое соединение Т7, которое содержит основной и подварочный сварные швы. Согласно рекомендациям данного стандарта, основной и подварочный швы необходимо выполнять сваркой в защитном газе, что не всегда возможно из-за отсутствия хорошего доступа к обратной стороне шва. Поэтому отсутствие системного подхода в этом случае заставило бы конструктора использовать одностороннее соединение Т6, обладающее более низкой работоспособностью из-за ярко выраженной асимметрии, которая, согласно выводам [23–25], является причиной возникновения дополнительных напряжений от изгиба. Системный подход и представление о гибридных неразъемных соединениях приводят к эффективному решению данной проблемы: основной шов выполняется механизированной сваркой в защитном газе, обеспечивающей высокую производительность труда, а подварочный шов – лежачим электродом, который не требует значительного пространства при сварке.

#### ВЫВОДЫ

1. Предложен системный подход к технике создания неразъемных соединений, основанный на законе необходимого разнообразия и разработке гибридных соединений, сочетающих в себе конструктивные и технологические особенности, присущие различным технологическим процессам.

2. Разработана классификация соединений гибридного типа, учитывающая их конструктивные особенности и технологию изготовления, а также конкретные конструкции гибридных соединений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цумарев, Ю. А. Критериальный подход к созданию конструктивных форм паяных соединений / Ю. А. Цумарев // Сварочное производство. 2010. № 3. С. 34–38.
2. Цумарев, Ю. А. Получение комбинированных неразъемных соединений / Ю. А. Цумарев // Сварочное производство. 2011. № 4. С. 42–46.
3. О'Коннор, Дж. Искусство системного мышления / Дж. О'Коннор, И. Макдермотт. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. 256 с.

4. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 433 с.
5. Волкова, В. Н. Теория систем / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. М.: Высш. шк., 2006. 511 с.
6. Цумарев, Ю. А. Расчет напряженно-деформированного состояния нахлесточных соединений / Ю. А. Цумарев // Сварка и диагностика. 2011. № 2. С. 14–18.
7. Шелег, В. К. Влияние геометрических размеров паяного нахлесточного соединения на его напряженно-деформированное состояние / В. К. Шелег, Ю. А. Цумарев, Е. В. Игнатова // Наука и техника. 2014. № 2. С. 52–56.
8. Цумарев, Ю. А. Влияние конструкции нахлесточного сварного соединения на его напряженно-деформированное состояние / Ю. А. Цумарев, Е. Ю. Латыпова, Е. Н. Цумарев // Сварочное производство. 2012. № 8. С. 29–33.
9. Шелег, В. К. Мероприятия по повышению эффективности контактной точечной сварки / В. К. Шелег, Ю. А. Цумарев, Е. Н. Цумарев // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В: Промышленность. Прикладные науки. 2013. № 3. С. 61–65.
10. Цумарев, Ю. А. Распределение напряжений и деформаций в нахлесточном сварном соединении при изгибе / Ю. А. Цумарев, В. К. Шелег, Е. Н. Цумарев // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2012. № 2. С. 116–122.
11. Цумарев, Ю. А. Экспериментальное определение циклической прочности паяных соединений / Ю. А. Цумарев // Сварочное производство. 2009. № 10. С. 37–42.
12. Цумарев, Ю. А. Образцы для определения циклической прочности паяных соединений методом изгиба с вращением / Ю. А. Цумарев, И. В. Тарасенко // Сварочное производство. 2004. № 2. С. 17–18.
13. Цумарев, Ю. А. Термические напряжения в телескопических паяных соединениях разнородных металлов / Ю. А. Цумарев, И. И. Силин, В. П. Березиенко // Автоматическая сварка. 1975. № 3. С. 21–22.
14. Цумарев, Ю. А. Снижение концентрации напряжений в тавровых неразъемных соединениях / Ю. А. Цумарев, Е. В. Игнатова, Е. Н. Цумарев // Сварочное производство. 2013. № 5. С. 12–16.
15. Латыпова, Е. Ю. Составные конструктивные элементы для неразъемных соединений / Е. Ю. Латыпова, Ю. А. Цумарев // Сварочное производство. 2016. № 3. С. 33–38.
16. Цумарев, Ю. А. Методика оценки прочности паяных соединений стыкового типа / Ю. А. Цумарев // Технология машиностроения. 2009. № 3. С. 23–26.
17. Цумарев, Ю. А. Преимущества современных разнородностей паяных соединений / Ю. А. Цумарев, Е. В. Игнатова, Т. С. Латун // Стандартизация. 2013. № 2. С. 29–32.
18. Цумарев, Ю. А. Предложения по изменению стандартов на конструктивные элементы сварных соединений / Ю. А. Цумарев, А. А. Радченко, В. П. Куликов // Сварочное производство. 2012. № 4. С. 49–51.
19. Патон, Б. Е. О повышении несущей способности и долговечности сварных конструкций / Б. Е. Патон, В. И. Труфяков // Автоматическая сварка. 1982. № 2. С. 1–6.



20. Цумарев, Ю. А. Контактная точечная сварка со специальной подготовкой свариваемых кромок / Ю. А. Цумарев // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 59–61.
21. Влияние изгиба на концентрацию напряжений в паяных соединениях / Ю. А. Цумарев [и др.] // Сварочное производство. 2015. № 9. С. 43–45.
22. Снижение концентрации напряжений в сварных соединениях с помощью пайки / Ю. А. Цумарев [и др.] // Сварочное производство. 2014. № 3. С. 30–33.
23. Цумарев, Ю. А. Влияние асимметрии односторонних стыковых швов на распределение напряжений в сварном соединении / Ю. А. Цумарев // Сварка и диагностика. 2010. № 5. С. 24–27.
24. Цумарев, Ю. А. Прочность паяных соединений / Ю. А. Цумарев. Могилев: Белор.-Рос. ун-т, 2011. 174 с.
25. Tsumarev, Yu. A. Carrying Capacity of Braced Soldered Joints / Yu. A. Tsumarev, E. V. Ignatova // Russian Engineering Research. 2011. No 9. P. 865–867.
- ceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-Technical Series, (2), 116–122 (in Russian).
11. Tsumarev Yu. A. (2009) Experimental Determination of Cyclic Strength in Soldered Joints. *Svarochnoye Proizvodstvo* [Welding Engineering], (10), 37–42 (in Russian).
12. Tsumarev Yu. A., Tarasenko I. V. (2004) Specimens for Determination of Cyclic Strength in Soldered Joints while Using Bending Method with Rotation. *Svarochnoye Proizvodstvo* [Welding Engineering], (2), 17–18 (in Russian).
13. Tsumarev Yu. A., Silin I. I., Berezienco V. P. (1975) Thermal Stresses in Telescopic Soldered Joints of Dissimilar Metals. *Avtomaticheskaya Svarka = Automatic Welding*, (3), 21–22 (in Russian).
14. Tsumarev Yu. A., Ignatova E. V., Tsumarev E. N. (2013) Reducing the Stress Concentration in Permanent T-Joints. *Svarochnoye Proizvodstvo* [Welding Engineering], (5), 12–16 (in Russian).
15. Latypova E. Yu., Tsumarev Yu. A. (2016) Composite Structural Elements for Permanent Joints. *Welding International*, 31 (3), 242–246. <https://doi.org/10.1080/09507116.2016.1243755>.
16. Tsumarev Yu. A. (2009) Methodology for Assessment of Strength in Soldered Butt Joints. *Tekhnologiya Mashinostroeniya* [Technology of Mechanical Engineering], (3), 23–26 (in Russian).
17. Tsumarev Yu. A., Ignatova E. V., Latun T. S. (2013) Advantages in Modern Variety of Soldered Joints. *Standartizatsiya* [Standardization], (2), 29–32 (in Russian).
18. Tsumarev Yu. A., Radchenko A. A., Kulikov V. P. (2012) Proposals on Changing Standards for Structural Elements of Welded Joints. *Svarochnoye Proizvodstvo* [Welding Engineering], (4), 49–51 (in Russian).
19. Paton B. E., Trufiyakov V. I. (1982) On Improvement of Bearing Capacity and Longevity of Welded Structures. *Avtomaticheskay Svarka* [Automatic Welding], (2), 1–6 (in Russian).
20. Tsumarev Yu. A. (2010) Contact Spot Welding with Special Preparation of Edges to be Welded. *Avtomaticheskaya Svarka* [Automatic Welding], (3), 59–61 (in Russian).
21. Tsumarev Yu. A., Ignatova E. V., Latypova E. Yu., Latun T. S. (2015) Influence of Bending on Stress Concentration in Soldered Joints. *Svarochnoye Proizvodstvo* [Welding Engineering], (9), 43–45 (in Russian).
22. Tsumarev Yu. A., Tsumarev E. N., Ignatova E. V., Latypova E. Yu. (2014) Reducing Stress Concentration in Welded Joints by Brazing. *Welding International*, 29 (3), 227–229. <https://doi.org/10.1080/09507116.2014.911425>.
23. Tsumarev Yu. A. (2010) Influence of Asymmetry in One-side Butt Joints on Stress Distribution in Welded Joints. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics], (5), 24–27 (in Russian).
24. Tsumarev Yu. A. (2011) *Strength of Soldered Joints*. Mогилев, Belarusian-Russian University. 174 (in Russian).
25. Tsumarev Yu. A., Ignatova E. V. (2011) Carrying Capacity of Braced Soldered Joints. *Russian Engineering Research*, (9), 865–867. <https://doi.org/10.3103/s1068798x11090255>.

Received: 19.02.2018

Accepted: 23.04.2018

Published online: 28.09.2018

Поступила 19.02.2018  
 Подписана в печать 23.04.2018  
 Опубликовано онлайн 28.09.2018

## REFERENCES

1. Tsumarev Yu. A. (2010) Critical Approach to Creation of Design Shapes for Soldered Joints. *Svarochnoye Proizvodstvo* [Welding Engineering], (3), 34–38 (in Russian).
2. Tsumarev Yu. A. (2011) Obtaining of Combined Permanent Joints. *Svarochnoye Proizvodstvo* [Welding Engineering], (4), 42–46 (in Russian).
3. O'Connor J., McDermott I. (1997) *The Art of Systems Thinking*. Thorsons. 288.
4. Ashby W. R. (1956) *An Introduction to Cybernetics*. New York, J. Wiley. 295. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.5851>.
5. Volkova V. N., Denisov A. A. (2006) *Theory of Systems*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ. 511 (in Russian).
6. Tsumarev Yu. A. (2011) Calculation of Stress and Deformed State for Overlap Joints. *Svarka i Diagnostika* [Welding and Diagnostics], (2), 14–18 (in Russian).
7. Sheleg V. K., Tsumarev Yu. A., Ignatova E. V. (2014) Influence of Geometric Dimensions of Soldered Overlap Joint on Stress and Deformed State. *Nauka i Tekhnika = Science and Technique*, (2), 52–56 (in Russian).
8. Tsumarev Yu. A., Latypova E. Yu., Tsumarev E. N. (2012) Influence of Soldered Overlap Joint Design on its Stress and Deformed State. *Svarochnoye Proizvodstvo* [Welding Engineering], (8), 29–33 (in Russian).
9. Sheleg V. K., Tsumarev Yu. A., Tsumarev E. N. (2013) Measures on Improvement of Efficiency in Contact Spot Welding. *Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya B: Promyshlennost' = Herald of Polotsk State University. Series B, Industry. Applied Sciences*, (3), 61–65 (in Russian).
10. Tsumarev Yu. A., Sheleg V. K., Tsumarev E. N. (2012) Distribution of Stresses and Deformations in Welded Lap Joint under Bending. *Vestsi Natsyyanal'nai Akademii Navuk Belarusi. Seriya Fizika-Tekhnichnykh Navuk = Pro-*